



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

**KONSTRUKCE FRÉZOVACÍHO PŘÍPRAVKU PRO CNC
OBRÁBĚCÍ STROJ**

DESIGN OF CLAMPING DEVICE FOR CNC MILLING MACHINE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Kašpárek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Svoboda, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav konstruování
Student: **Jan Kašpárek**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **doc. Ing. Petr Svoboda, Ph.D.**
Akademický rok: 2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Konstrukce frézovacího přípravku pro CNC obráběcí stroj

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Díky rozvoji technologií a vysoké poptávce narůstá výroba komponentů vyráběných z polotovarů na CNC obráběcích strojích. Realizace každé operace obrábění vyžaduje určité konstrukční a technologické uspořádání obrobku. Konstrukce frézovacího přípravku pro CNC obráběcí stroj umožní progresivní výrobu.

Typ práce: vývojová – konstrukční

Cíle bakalářské práce:

Hlavním cílem je návrh konstrukce systému upínání součástí na CNC obráběcím stroji s ohledem na minimální náklady a prostoje stroje při sériové výrobě pro automobilový průmysl.

Dílčí cíle bakalářské práce:

- analyzovat problém a provést bibliografickou rešerši existujících řešení upínání pro sériovou výrobu,
- vypracovat koncepční návrhy možných řešení,
- rozpracovat vybraný návrh do podoby výkresové dokumentace.

Požadované výstupy: průvodní zpráva, výkresy součástí, výkres sestavení, digitální data.

Rozsah práce: cca 27 000 znaků (15 – 20 stran textu bez obrázků).

Časový plán, struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

<http://ustavkonstruovani.cz/texty/bakalarske--studium--ukonceni/>

Seznam doporučené literatury:

BAKKER, O.J., T.N. PAPASTATHIS, A.A. POPOV a S.M. RATCHEV. Active fixturing: literature review and future research directions. International Journal of Production Research. 2013, 51(11), 3171-3190. DOI: 10.1080/00207543.2012.695893. ISSN 0020-7543.

ŘASA, J. Strojírenská technologie 4: Návrhy nástrojů, přípravků a měřidel. Zásady montáže. Praha: Scientia, 2003. ISBN 978-80-7183-284-3.

HOFFMAN, E.G. Jig and fixture design. 5th ed. Clifton Park, NY: Thomson/Delmar Learning, 2004. ISBN 978-1401811075.

CAMPBELL, P.D. Basic fixture design. New York, N.Y.: Industrial Press, 1994. ISBN 978-0-83-1-3052-7.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá problematikou upínacích přípravků pro tvarově složitější součásti. Cílem práce bylo navrhnout způsob upínání pro konkrétní součást vyráběnou na CNC obráběcím centru s ohledem na maximalizaci efektivity celého procesu. Výstupem je úprava komerčně dostupného upínacího systému tak, aby vyhovoval zadaným požadavkům. Míra efektivity a tím i hospodárnosti celého obráběcího procesu je potom určena výpočty strojních časů, které ukázaly, že série se vyrobí v požadovaném termínu. Práce mimo jiné poskytuje přehled v oblastech používaných materiálů v automobilovém průmyslu, používaných obráběcích centrech v tomto odvětví a v neposlední řadě také přehled základních způsobů upínání a jejich zásad.

KLÍČOVÁ SLOVA

frézovací přípravek, upínací přípravek, obráběcí centrum, optimalizace výrobního procesu

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with clamping fixtures problematics for parts with difficult shapes. It aims to design an effective way of clamping of a part machined on CNC machining centre. The output is an adjustment of commercially available clamping system to suit requirements of assignment. The efficiency of the manufacturing process is determined by machining time calculations that showed that series will be finished in required time. Besides that, the thesis provides an overview in various fields, such as used materials in automotive industry, used machining centres in automotive industry and also the overview in principles of clamping.

KEYWORDS

milling fixture, clamping fixture, machining centre, optimization of manufacturing process

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KAŠPÁREK, Jan. Konstrukce frézovacího přípravku pro CNC obráběcí stroj [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124342>.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování. Vedoucí práce Petr Svoboda.

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu své bakalářské práce panu doc. Ing. Petru Svobodovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a ochotu při konzultacích. Dále bych rád poděkoval Petru Dobrovolnému, zaměstnanci společnosti IMTOS s.r.o., za pomoc při zjišťování teoretických informací o strojích společnosti GROB.

PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE

Prohlašuji, že diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, pod odborným vedením pana doc. Ing. Petra Svobody, Ph.D. Současně prohlašuji, že všechny zdroje obrazových a textových informací, ze kterých jsem čerpal, jsou řádně citovány v seznamu použitých zdrojů.

.....

Podpis autora

OBSAH

1	ÚVOD	13
2	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	14
2.1	PRAKTICKÉ URČENÍ VYRÁBĚNÉ SOUČÁSTI	14
2.2	PŘEHLED SLITIN HLÍNIKU V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU	15
2.2.1	ZHODNOCENÍ POUŽITELNÝCH SLITIN	17
2.2.2	MOŽNOSTI EXTRUDOVANÝCH POLOTOVARŮ	18
2.3	PŘEHLED POUŽÍVANÝCH OBRÁBĚCÍCH STROJŮ V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU	19
2.3.1	GROB G520	20
2.3.2	DMG MORI CMX 50 U	21
2.3.3	HYUNDAI WIA i-CUT400TD	22
2.3.4	FANUC ROBODRILL α D21LiB5	22
2.3.5	CHIRON 15 Series	23
2.3.6	ZHODNOCENÍ POUŽITELNÝCH OBRÁBĚCÍCH STROJŮ	24
2.4	UPÍNACÍ PŘÍPRAVKY	25
2.4.1	KONSTRUKČNÍ ZÁSADY UPÍNACÍCH PŘÍPRAVKŮ	25
2.4.2	VOLBA USTAVOVACÍCH PLOCH OBROBKU A JEHO SAMOTNÉ USTAVENÍ	27
2.4.3	UPÍNÁNÍ OBROBKU	28
3	ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE	41
3.1	ANALÝZA PROBLÉMU	41
3.2	CÍL PRÁCE	42
4	KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ	43
4.1	KONCEPT 1	43
4.2	KONCEPT 2	44
5	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	45
5.1	VÝBĚR KONCEPTU	45
5.2	ROZVRŽNENÍ UPÍNACÍCH JEDNOTEK PŘI OBRÁBĚNÍ	46
5.3	UPÍNACÍ DESKA	47
5.4	VÝPOČET STROJNÍCH ČASŮ	48
5.5	SPLNĚNÍ POŽADOVANÉ SÉRIE	52

6	DISKUZE	54
7	ZÁVĚR	55
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	56
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN	61
9.1	POUŽITÉ VELIČINY, JEJICH JEDNOTKY A VÝZNAM	61
10	SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ	62
10.1	SEZNAM OBRÁZKŮ	62
11	SEZNAM TABULEK	64
12	SEZNAM PŘÍLOH	65
12.1	VÝKRESY	65
12.2	OSTATNÍ	65

1 ÚVOD

Tato práce se zabývá návrhem a konstrukcí upínacího přípravku pro konkrétní tvarově složitější součást vyráběnou na CNC frézce. Celá konstrukce přípravku bude řešena s přihlédnutím na požadavky co nejkratších strojních časů tak, aby sériová výroba této součásti byla co nejvíce efektivní.

Upínací přípravky jsou technologické pomůcky usnadňující výrobu součástí, obzvláště pak těch tvarově složitých. Požadavkem pro každý takový přípravek je hlavně dokonalost upnutí pro maximalizování kvality obráběné plochy. Dalším požadavkem je také jednoduchá ovladatelnost, aby vyjmutí součásti z přípravku a upnutí nového kusu bylo proveditelné v co nejkratším možném čase, a aby požadavky na kvalifikaci pracovníka byly co nejnižší. V této práci budou mimo jiné obecně rozebrány základní technologické zásady pro výrobu takovýchto přípravků, které budou při následném návrhu přípravku nutné zohlednit a dodržet.

V této práci bude také prodiskutováno, jak se v automobilovém průmyslu rozjímá používání součástí z hliníku a jeho slitin. Tyto materiály mají dnes v automobilovém průmyslu pro svůj nespočet výhod nenahraditelný podíl, a tak bude níže diskutováno z jaké konkrétní slitiny hliníku bude součást, pro kterou konstruuji přípravek, vyrobena.

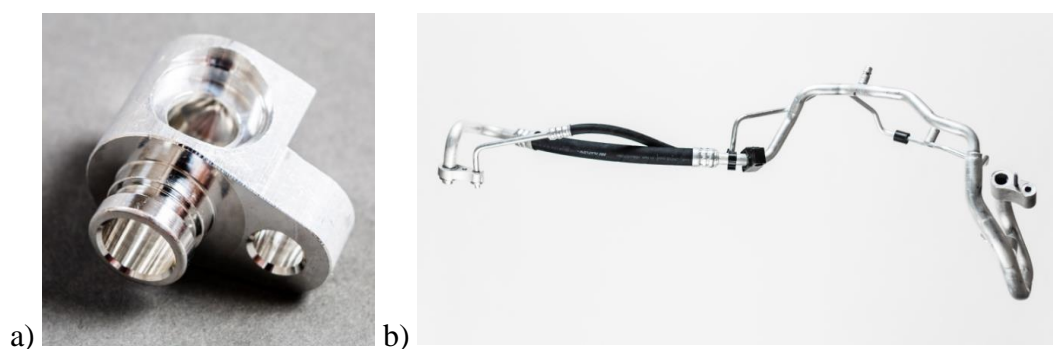
V neposlední řadě budou v této práci také shrnuty používaná obráběcí centra, které se podle výrobce hodí k použití ve velkosériové výrobě. Z tohoto výčtu potom bude vybráno jedno konkrétní centrum, pro které se konstruovaný přípravek bude navrhovat.

2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

V této kapitole bude nejprve definované praktické určení vyráběné součásti, pro kterou se přípravek konstruuje. Budou postupně probrané materiály, které by se daly použít pro vyráběnou součást, dále budou probrány obráběcí centra, které jsou v současnosti používány, přičemž s ohledem na jejich konstrukci a možnosti bude přípravek konstruován. V poslední části této kapitoly budou obecně vyčteny zásady a požadavky pro konstrukci upínacího přípravku, kterých se bude potřeba při návrhu držet. Na konci této části budou také ukázky některých komerčních, běžně dostupných upínacích prvků a systémů, kterých by šlo při konstrukci celého zařízení využít.

2.1 PRAKTICKÉ URČENÍ VYRÁBĚNÉ SOUČÁSTI

Upínací přípravek a dále celá optimalizace procesu se budou navrhovat pro konkrétní součást. Jedná se o fitink, který se nachází v klimatizačním celku téměř každého osobního i nákladního automobilu. Tyto fitinky ukončují rozvody a spojují dohromady kompresor, kondenzátor a výparník klimatizace. Tyto součástky se obvykle vyrábí třískovým obráběním, kdy vstupním materiálem jsou extrudované profily ze slitin hliníku, jenž do velké míry kopírují výsledný tvar součásti, čímž se během procesu šetří spousta času. Součásti podobné konstrukce vyrábí česká společnost CZ-AUTO (obr. 2-1a). Použití těchto součástek v již zmiňované sestavě klimatizačního celku lze potom vidět na obr. 2-1b.





c)

obr. 2-1 Ukázka produkce CZ-AUTO: a) vyráběný fitink, b) fitink v soustavě klimatizačního celku [42], c) připojení klimatizačního celku pomocí fitinku - upraveno [49].

2.2 PŘEHLED SLITIN HLÍNIKU V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU

Využití hliníku v automobilovém průmyslu hraje v dnešní době stále větší roli. Hlavním důvodem tohoto rozmachu byla snaha najít materiál s nižší měrnou hmotností, při zachování dobrých mechanických vlastností a přijatelné ceny. Výsledkem je potom úspora hmotnosti a tím zlepšení akcelerace vozu a snížení emisních plynů CO₂. Hliník a jeho slitiny jsou pro tyto požadavky ideální. Tyto materiály poskytují široké spektrum možných polotovarů (desky, plechy, výlisky apod.) a následně velké množství různých metod obrábění, ale i možnost odlévání pro tvarově složitější součásti [1].

Dle použití by se slitiny hliníku v automobilovém průmyslu daly rozdělit na dvě hlavní skupiny. První skupinou jsou součásti v interiéru vozidla. Patří sem např. palubní desky, věnce volantu, ramena pedálů, ramena zrcátek, vnitřní rámy dveří, výztužné sloupky apod. Druhou skupinu pak tvoří součásti exteriéru vozidla. patří sem např. kryt motoru, držák chladiče, skříň převodovky, blok motoru, písty, olejová vana, skříň startéru a alternátoru apod. [1].

Podle technologie výroby se potom tyto slitiny dají rozdělit na tvářené a lité. Mezi ty tvářené patří ty, jejichž polotovary jsou zhotoveny tvářením, tedy extrudováním, ohýbáním, stříháním atd. Mezi lité patří ty, které jsou vhodné k lití do písku nebo kokil, popř. k lití na vytavitelný model, tlakovému lití atd. [1].

Polotovarem součásti, pro kterou přípravek konstruuji, bude přesně extrudovaná tyč. Z výčtu hliníkových slitin rovnou můžu vyřadit slitiny lité, protože z těch tato součást vyrobena nebude. Zaměřuji se tedy na slitiny ke tvářením, označují se písmenem W na čtvrtém místě označení dle ČSN EN.

DURALY TŘÍDY 20XX

Hlavními složkami jsou hliník a měď. Vedle nich se ve složení nejčastěji objevuje hořčík, olovo, nebo bismut. Jejich označení začíná vždy dvojkou (EN AW 20XX) [2]. Obecně se všechny duraly tříd 20XX vyznačují dobrou pevností ($350 < R_m < 400$ MPa), dobrou tvrdostí (100-120 HB) a dobrou obrobitelností – materiál se nelepí na nástroj, není vždy vyžadováno mazání a chlazení [2]. Nevýhodou je tady ale jejich nevhodnost ke svařování, špatná korozní odolnost a zvýšené vnitřní pnutí [2].

EN AW 3003

Slitina Al-Mn-Cu. Je středně tvrdá ($R_m < 185$ MPa) s poměrně dobrou obrobitelností a dobrou odolností proti korozi i bez povrchových úprav. Její svařitelnost je velice dobrá [3],[4]. Je také vhodná k ohýbání. Nelze ji vytvrdit. Používají se tam, kde je potřeba vyšší pevnost a korozivzdornost, než má čistý hliník. Nejčastěji se používá pro výrobu chemických zařízení, tlakových nádob, výrobníků ledu, chladících panelů, plynových potrubí, či výměníků tepla [4].

EN AW 5083

Slitina Al-Mn-Mg. Je to slitina střední kvality s poměrně dobrou obrobitelností. Má dobrou pevnost ($R_m < 270$ MPa), ale je poměrně měkká (70 HB). Velkou výhodou je ale její univerzálnost v možnostech použití – je dobře svařitelná jak při obloukovém, tak při odporovém svařování; dobře eloxovatelná a má také dobrou odolnost proti korozi, obzvlášť v prostředí mořské vody. Její obrobitelnost je také velice dobrá, obzvlášť při frézování [2]. Pro své vlastnosti je využití této slitiny velice univerzální. Nejčastěji se tato slitina používá pro stavbu lodí, železničních vozidel, karoserií vozidel, chladičů výměníků tepla, hydraulických zařízení, či na tlakové nádoby [4].

EN AW 5754

Slitina Al-Mg. Je to slitina se dobrou obrobitelností, spíše v tvrdším stavu [3]. Má vynikající svařitelnost, velice dobrou korozivzdornost, velice dobrou eloxovatelnost, velice dobrou chemickou stálost, ale horší mechanické vlastnosti než předešlá slitina ($R_m < 180$ MPa) [3]. Má vysoké spektrum teplot, v kterých lze použít, a to od -196 °C do $+150$ °C. Nejčastěji se používá ke stavbě lodních konstrukcí, v chemickém a potravinářském průmyslu, dále na svařované konstrukce v jaderném průmyslu, tlakové nádoby, výměníky tepla, trubky pro hydrauliku, kotle, čluny ropných plošin atd. [3], [4].

EN AW 6060

Slitina Al-Mg-Si. Je to slitina s dobrou obrobitelností při středních pevnostech. Má vynikající svařitelnost, odolnost vůči korozi, tváritelnost i eloxovatelnost. Má o něco horší mechanické vlastnosti ($R_m < 180$ MPa), dá se ale vytvrdit, a tak tyto vlastnosti zlepšit. Nejčastěji se používá pro rámové systémy, osvětlení, žebříky, zábradlí, části chladičů, kryty elektromotorů, radiátory, či výměníky tepla [4].

EN AW 6082

Slitina Al-Mg-Si. Je to slitina velice podobná slitině předchozí. Rozdílem je tu vyšší obsah křemíku, což způsobuje lepší pevnost ($R_m < 310$ MPa), tvrdost i obrobitelnost (hlavně při středních pevnostech) než EN AW 6060. Je vhodná k eloxování a má také docela dobrou svařitelnost, musí se jen dávat pozor na sníženou pevnost v oblasti svaru. Slitina vyniká skvělou odolností proti korozi. Nejčastěji nachází využití při konstrukcích železničních vozů, rámech kamionů, lodí, dále v námořním průmyslu, při stavbě mostů, kotlů, plošin, na výrobu přírub, při konstrukci hydraulických systémů, důlních strojů, lešení, hal apod. [4].

EN AW 7075

Slitina Al-Zn-Mg-Cu – tzv. letecký dural. Slitina je velmi dobře obrobitelná. Má velice vysokou pevnost ($R_m < 500$ MPa) a tvrdost (< 160 HBW). Není vhodná ke svařování ani k eloxování [2]. Používá se nejčastěji ve vytvrzeném stavu. Má horší odolnost proti korozi. Další nevýhodou je také náchylnost k vrubům. Uplatnění nachází nejčastěji při výrobě ozubených kol a šneků, hřídelí, částí letadel a raket [2], [4].

2.2.1 ZHODNOCENÍ POUŽITELNÝCH SLITIN

Výše uvedené slitiny hliníku jsou shrnuty v tabulce 2-1 s uvážením jejich vlastností. Vyráběná součást bude součástí potrubí klimatizace. Do součásti budou připájeny koncovky hadic, které budou klimatizační médium rozvádět. Materiál musí být také korozivzdorný kvůli tomu, že bude ve styku s klimatizačním médiem. Od použitého materiálu budu tedy požadovat korozivzdornost, vhodnost k pájení, a také obrobitelnost s ohledem na co nejsnadnější sériovost výroby. Naopak co se od materiálu nepožaduje, je pevnost. Součást nebude nijak silově namáhána, tudíž pevnost není vlastnost, na kterou by bylo potřeba se při výběru materiálu soustředit. Vhodnost jednotlivých operací jsem očísloval od 1 do 3. (1 - nejvíc vhodná k dané operaci, 3 - nejméně vhodná k dané operaci).

tab. 2-1 Vhodnost vybraných slitin hliníku k požadovaným technologickým operacím

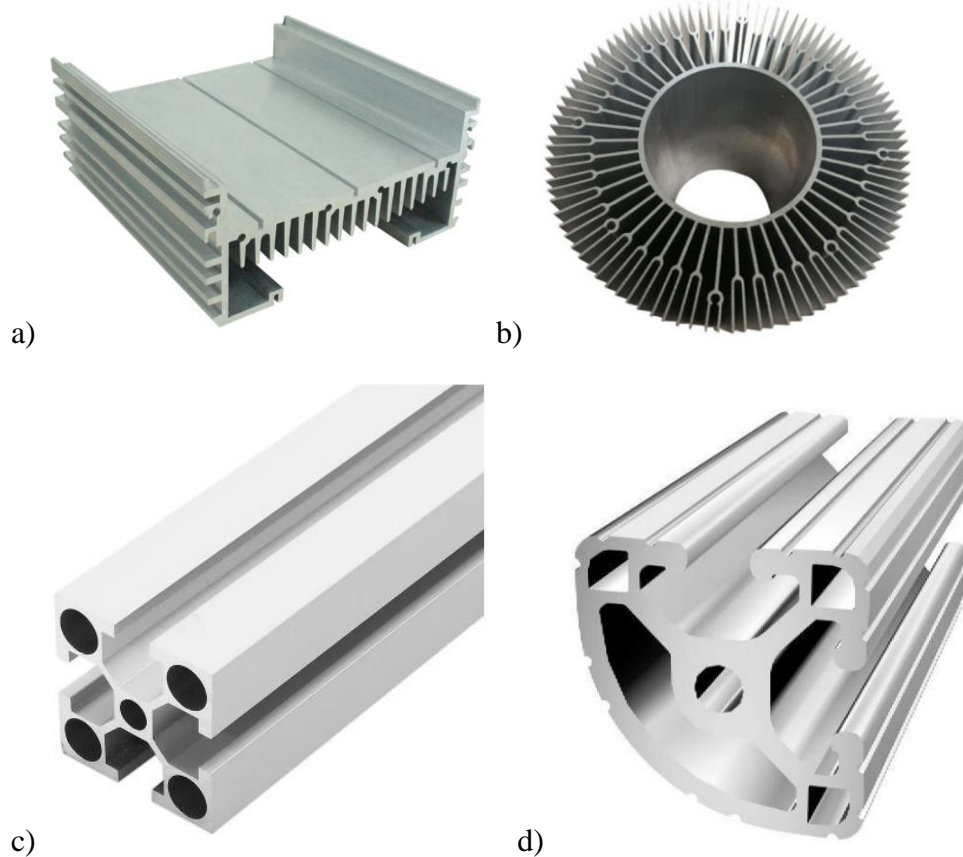
Označení slitiny	Korozivzdornost	Vhodnost k pájení	Obrobitelnost
EN AW 20XX	3	3	2
EN AW 3003	1	1	2
EN AW 5083	1	1	1
EN AW 5754	1	1	1
EN AW 6060	1	1	2
EN AW 6082	1	2	1
EN AW 7075	2	3	1

Z výše uvedené tabulky je zřejmé, že nejvhodnější pro naši aplikaci jsou slitiny EN AW 5083, EN AW 5754, popř. ještě EN AW 6060. Slitinu EN AW 6060 jsem z užšího výběru vyřadil z toho důvodu, že i když obrobitelná je celkem dobře, vznikají při obrábění problémy s deformací tenkých stěn obrobku z důvodu velmi nízké tvrdosti [2].

Obě zbývající slitiny jsou si svými technologickými vlastnostmi velmi podobné. Obrobitelnost obou je víceméně bezproblémová, ale o něco lépe se obrábí slitina EN AW 5083. Frézování této slitiny také není tak náchylné (až při větších hloubkách záběru) na zalepení břitů nástroje, jak je tomu u EN AW 5754 [2]. Další výhodou je také to, že slitina EN AW 5083 se dodává ve více formách polotovaru. Jde dodat jak ve válcovaných deskách, tak ve válcovaných frézovaných deskách, a dokonce i ve formě litých řezaných nebo litých frézovaných desek, čehož by při obrábění v mém případě šlo využít. Jedinou nevýhodou slitiny EN AW 5083 je možná její cena, která je nepatříčně vyšší než u EN AW 5754. Cena většiny slitin hliníku, včetně těchto, je ale obecně nízká, a proto tohle nepředčí výhody ze stránky technologické a mechanické [2].

2.2.2 MOŽNOSTI EXTRUDOVANÝCH POLOTOVARŮ

Pro pozdější konstrukci upínače je potřeba mít povědomí o tom, v jakých formách polotovarů jsou hliníkové slitiny dodávány. Jak již bylo řečeno výše, předpokládá se použití extrudované tyče. Tyto profily se vyrábí extruzí, tedy protlačováním materiálu ve formě kalot přes lisovací matici, která má tvar výsledného profilu. Extruze může probíhat jak za tepla, tak za studena. V dnešní době je možné takto vyrobit velkou škálu tvarů profilů. Na dosažené tolerance profilů má vliv hlavně tloušťka stěny a typ použité slitiny [43]. Minimální dosažitelná tloušťka závisí na použité slitině. Pro předpokládané použité slitiny (5083 nebo 5754) je to dle prospektů výrobce až 0,5 mm [47]. Přehled různých součástí vyráběných touto metodou lze vidět na obr. 2-2.



obr. 2-2 Možnosti profilů vyráběných extruzí hliníkových slitin: a), b) kostry chladičů [44]; c), d) konstrukční rámy [45], [46].

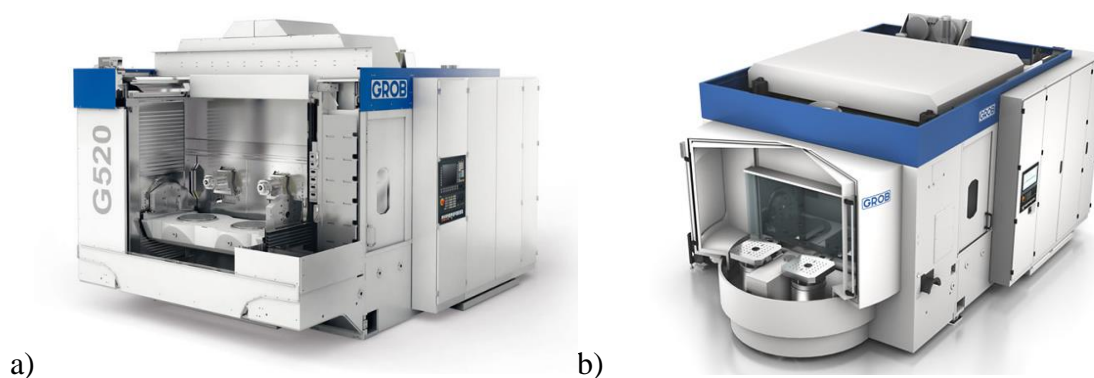
2.3 PŘEHLED POUŽÍVANÝCH OBRÁBĚCÍCH STROJŮ V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU

Obráběcích center na trhu je obrovské množství. Níže uvedený výčet obsahuje obráběcí centra s přihlédnutím na vhodnost použití v automobilovém průmyslu, na vhodnost obrábění materiálu z hliníkových slitin a na maximalizování produktivity.

Důležité hledisko, které bylo také potřeba zohlednit byla možnost přívodu hydraulického (popř. pneumatického) média pod tlakem přímo ze stroje, aby bylo možné ovládat přípravek bez externího čerpadla (popř. kompresoru).

2.3.1 GROB G520

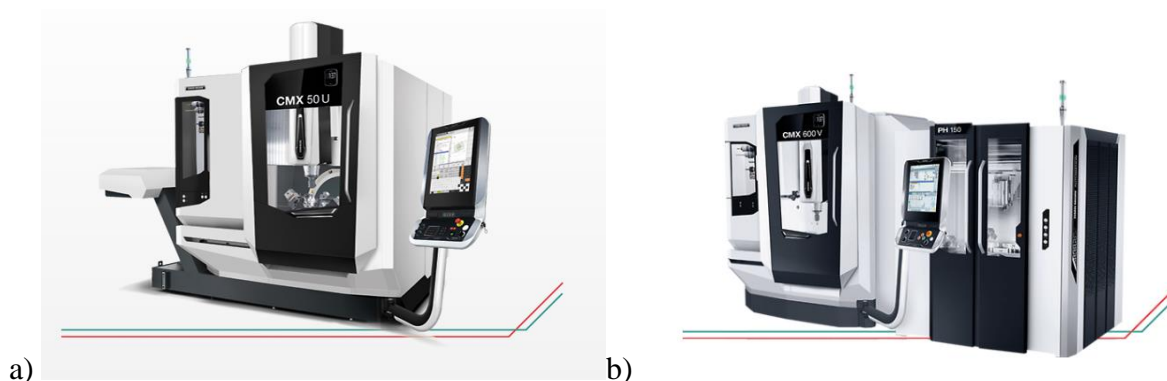
Celá řada těchto obráběcích strojů společnosti GROB-WERKE míří na zákazníky z automobilovém průmyslu, kde jedním z nejdůležitějších požadavků je co nejvyšší produktivita. Toto obráběcí centrum (obr. 2-3a) má dvě na sobě nezávisle pracující vřetena pracující v horizontálním směru. Vřetena pracují paralelně, tudíž každé z nich může vykonávat jinou operaci. Upínač s obrobkem je při obrábění přichycen na dvou rotačních stolech (pro každé vřeteno jeden), které jdou zároveň i naklápět pomocí kolébkového stolu, na kterém jsou přichyceny. Stůl se může naklápět v rozmezí -45° až 180° . Důležitou výhodou tohoto obráběcího centra je možnost zabudovat do stroje integrovaný měnič palet (obr. 2-3b), který umožní na dvou stolech vyjímání hotových kusů a následné upínání nových polotovarů, zatímco na druhé dvojici stolů probíhá obrábění. Toto vede k minimalizaci prostojových časů a maximalizaci produktivity. Velkou škálu příslušenství si lze na toto obráběcí centrum nakonfigurovat dle přání zákazníka např. typ kolébkového stolu, typ vřetena (dle výkonu, krouticího momentu, otáček), zásobník nástrojů, typ řídicího systému stroje, či už výše zmíněný integrovaný měnič palet. Je zde umožněn přívod hydraulického média pod tlakem, o možnostech pneumatického média výrobce nic neuvádí [5]. Za zmínku také stojí, že tento stroj je součástí automatických linek společnosti Audi AG a.s. [16].



obr. 2-3 Obráběcí centrum GROB G520: a) bez měniče palet, b) s integrovaným měničem palet [5], [6].

2.3.2 DMG MORI CMX 50 U

Jedná se o obráběcí centrum s jedním vřetenem pracujícím ve vertikálním směru (obr. 2-4a). Přípravek s obrobkem je upevněn na naklápěcím rotačním stole s rozsahem rotace v ose B od -5° do 110° , což umožňuje frézování tvarově složitějších součástí bez potřeby vícenásobného upínání. Díky možnosti vysokých posuvů v lineárních osách a také díky vysoké rychlosti změny nástroje je zaručena vysoká efektivita a eliminace nevýrobních časů. Rotační stůl má velké rozměry, tudíž by bylo možné a efektivní upnout několik přípravků naráz a tím maximalizovat produktivitu. Velikou výhodou je tu možnost konfigurace různých přídatných zařízení, zvláště pak automatizačního systému s velkou skladovací kapacitou, nebo paletového manipulačního systému s kotoučovým zásobníkovým systémem (obr. 2-4b) z produkce jmenované společnosti, který by opět umožnil maximalizovat produktivitu z důvodu eliminace prostojových časů. Polotovary v přípravcích jsou v tomto případě upevněny na rotačním stole, odkud jsou pomocí manipulátoru dopraveny do místa obrábění a po jeho dokončení zase zpět na stůl. Stůl je pro operátora jednoduše přístupný pomocí samostatných dveří. Minimální počet palet (pozic) na rotačním stole, kde můžou být přípravky nachystány je 4, maximální pak 24. Je zde umožněn přívod jak hydraulického, tak pneumatického média pod tlakem [7].



obr. 2-4 Obráběcí centra DMG MORI: a) DMG MORI CMX 50 U, b) CMX 600V s kotoučovým zásobníkovým systémem použitelným i pro CMX 50 [7], [8].

2.3.3 HYUNDAI WIA i-CUT400TD

Jde o tříosé obráběcí centrum, které disponuje jedním vertikálním vřetenem a dvěma stoly, kdy na jednom opět probíhá samotné frézování a na druhém lze vyjímat hotové kusy nebo upínat nové neobrobené (obr. 2-5). Rozměry stolu jsou velké natolik, že by bylo možné upnout dva přípravky vedle sebe [9]. Rotace středového tělesa (a tím výměna stolů) trvá 6 sekund. Stroje se vyznačují špičkovými časy pro výměnu nástrojů, které jsou uloženy ve věžovém řetězovém zásobníku. Vyznačují se také vysokorychlostními otáčkami vřetene, které díky svému uložení v ložiskách s kosoúhlým stykem zaručují maximální tuhost a teplotní stálost; a velkými hodnotami posuvu ve všech osách. Stroj má zdroj tlaku pro hydraulické médium [9], [10].



obr. 2-5 Obráběcí centrum Hyundai WIA i-CUT400TD [9].

2.3.4 FANUC ROBODRILL α D21LiB5

Jedná se o největší stroj řady ROBODRILL v nabídce společnosti Fanuc (obr. 2-6). Stroj má jedno vertikální vřeteno a obrobek v přípravku je uložen na stole, který umožňuje naklápění kolem podélné osy. Tyto stroje jsou etalonem své třídy. Stroje jsou dodávány s různými délkami lože. Bohužel ale neumožňují zrychlení procesu obrábění použitím dvou stolů [11]. Tento stroj uvádím hlavně z toho důvodu, že jej používá společnost KOVOKON Popovice s.r.o., která, jak jsem si všiml v jejich portfoliu, vyrábí součásti velice podobné té součásti, pro kterou se konstruuje přípravek v této práci [12].



obr. 2-6 Obráběcí centrum Fanuc ROBODRILL α D21LiB5 [11].

2.3.5 CHIRON 15 Series

Tato série obsahuje velké množství obráběcích center s vertikálním vřetenem. Vyznačuje se vysokými rychlostmi, kompaktními rozměry, spolehlivostí a stabilitou. Pro tuto sérii existuje obrovské množství konfigurací a přídatných zařízení pro jednotlivé stroje tak, aby daný stroj vyhovoval přesným požadavkům zákazníka. Obrobky v přípravku jsou upevněny na rotačním stole, který se dokáže naklápět. Díky tomu stroj dokáže pracovat v pěti osách. Stroje se vyznačují velice rychlou výměnou nástroje. Jedna z konfigurací stroje umožňuje také provedení se dvěma stoly. Na jednom se tedy obrábí a na druhém probíhá výměna hotových výrobků za nové polotovary. Pro různé účely potom existuje nepřeberné množství dalších konfigurací, např. přímý měřicí systém, laserová kontrola, centrální mazací systém, automatické dveře atd. Stroj disponuje také zdrojem hydrauliky i pneumatiky [13]. Tento stroj uvádím hlavně z toho důvodu, že jej využívá společnost CZ-AUTO – součást České zbrojovky a.s. Tato společnost na těchto strojích vyrábí fitinkové součásti pro stejné účely, pro jaké bude sloužit součást pro přípravek v mém případě [14]. Jeden z představitelů této série (obráběcí centrum FZ15 FX) je vyobrazen na obr. 2-7.



obr. 2-7 Obráběcí centrum FZ15 FX ze série CHIRON 15 [13].

2.3.6 ZHODNOCENÍ POUŽITELNÝCH OBRÁBĚCÍCH STROJŮ

Nejpožadovanější vlastností od zvoleného obráběcího centra je vysoká produktivita. Součást, pro kterou konstruuji přípravek je součást spadající do automobilového průmyslu. V automobilovém průmyslu hraje vysoká produktivita výroby velkou roli. I několikavteřinový prostoj stroje může ve výsledné roční produkci automobilů (nebo v mém případě klimatizačního celku) způsobit obrovské ztráty. Pro představu v případě ŠKODA AUTO a.s. se bavíme o produkci téměř 900 000 vozů ročně (údaj pro rok 2018) [15].

Při výběru stroje s požadavkem vysoké produktivity se tedy zaměřím hlavně na ty, které mají dva stoly, a tedy umožňují upínání/vyjímání obrobku na jednom stole, přičemž na druhém mezitím probíhá obrábění dalších kusů. Produktivitu může také zvýšit konstrukce se dvěma vřeteny.

V neposlední řadě se musím také zaměřit na to, jestli daný stroj má integrovaný přívod hydraulického nebo pneumatického média pod tlakem.

Výše uvedené stroje jsem shrnul v tabulce 2-2 a možnosti jednotlivých konstrukcí jsem označil symboly (ANO – tento stroj tohle umožňuje, NE – tento stroj tohle neumožňuje, n/a – výrobce ve svém portfoliu neuvádí tuto možnost, ale ani ji nezamítá).

tab. 2-2 Konstrukční možnosti vybraných obráběcích center

Označení stroje	Dvě vřetena	Možnost dvou stolů	Hydraulika/Pneumatika
GROB G520	ANO	ANO	ANO / n/a
DMG MORI CMX 50 U	NE	ANO	ANO / ANO
HYUNDAI WIA i-CUT400TD	NE	ANO	ANO / n/a
FANUC ROBODRILL α D21LiB5	NE	NE	ANO / n/a
CHIRON 15 Series	NE	ANO	ANO / ANO

2.4 UPÍNACÍ PŘÍPRAVKY

Upínací přípravky jsou pomocná zařízení, která jsou účelným doplňkem výrobních strojů. Jsou určeny k jednoznačnému ustavení a upnutí obrobku při jeho obrábění [17]. Hlavními účely upínacích přípravků jsou zpřesnění výroby, zjednodušení obsluhy stroje, zkrácení vedlejších časů a tím maximalizace produktivity [17], [22].

Upínací přípravky dle rozdělí dle:

- rozsahu použitelnosti:
 - univerzální
 - pro určitou skupinu obrobků
 - stavebnicové
 - jednoúčelové
 - způsobu upínání:
 - s ručním upínáním (síla vyvozena jednoduchým mechanismem – páka, šroub atd.)
 - s mechanickým upínáním (upínací síla vyvozena hydraulickým nebo pneumatickým médiem)
 - určení:
 - nezbytně nutné (požadovaný druh obrábění nelze bez tohoto přípravku možné provést)
 - hospodárné (obrábění by šlo provést i bez něj, ale jeho použití výrazně ovlivní hospodárnost procesu)
- [17]

2.4.1 KONSTRUKČNÍ ZÁSADY UPÍNACÍCH PŘÍPRAVKŮ

Hlavním kritériem pro provedení přípravku je velikost série, která se pro daný obrobek předpokládá [17]. Pro menší série se přípravky konstruují jednodušší, levnější. Je snaha co nejvíce částí přípravku volit jako normalizované. U větších sérii, kdy je zaručena návratnost investice do konstrukce a výroby přípravku, mohou být přípravky o poznání dokonalejší a tím pádem i dražší [17], [22].

Před vlastním konstrukčním řešením by se měly provést následující kroky:

- zjištění velikosti série – jak je uvedeno výše, od tohoto kritéria se budou dále odvozovat možnosti nákladnosti konstruovaného přípravku;
- studium výkresu obrobku – je třeba zjistit, zdali by nešly některé tvarové prvky na obrobku řešit jednodušeji bez ztráty jeho funkce, a tím výrazně zjednodušit přípravek;
- studium výrobního postupu – dle předepsaného výrobního postupu operací je potřeba přizpůsobit přípravek pro zajištění správných upnutí, dále lze případně navrhnout vhodnější stroj i nástroj a jeho řezné podmínky [17].

Vlastní konstrukční řešení by mělo sestávat z těchto kroků:

1. rozhodnutí, kolik obrobků se bude v přípravku obrábět najednou a zdali bude přípravek sloužit pouze k jedné operaci nebo k více operacím;
2. předběžný náčrt obrobku v takové poloze, ve které bude v přípravku ustaven při upnutí;
3. rozvržení jednotlivých ustavovacích a opěrných prvků. Jejich rozvržení závisí na směru působení řezných a upínacích sil. Řezné síly by měly vždy působit do plochy vymezené opěrnými body. Upínací síly by měly působit proti opěrným bodům;
4. rozvržení případných prvků sloužících k nastavení a vedení nástroje při práci (např. vrtací pouzdra);
5. vymezení ploch, za které lze upnutí provést bez toho, aniž by hrozila deformace obrobku;
6. spojení jednotlivých částí (ustavovacích, opěrných prvků a prvků pro vedení nástroje) do jednoho celku – těleso přípravku [17], [22].

Vedle dodržení výše uvedeného postupu konstrukce přípravku je také třeba dbát na tyto obecné požadavky a zásady pro upínací přípravky:

- obráběná plochy by měla být co nejblíže upínací ploše stolu (eliminace vibrací a tím eliminace nepřesností);
- přípravek musí být dokonalé tuhý, řeznými a upínacími silami nedeformovatelný;
- ovládací prvky musí být dobře přístupné a jednoduše a pohodlně ovladatelné;
- musí být zajištěna jednoznačnost ustavení obrobku;
- musí být zajištěn snadný odvod řezné kapaliny a třísek z prostoru přípravku, popř. jeho snadné čištění;
- plochy přípravku, u kterých se předpokládá velké opotřebení a menší životnost než u zbytku přípravku, se konstruují jako vyměnitelné;
- přípravky, které budou při své funkci rotovat, obzvláště pak vysokými otáčkami je třeba dokonale vyvážit (eliminace házení a tím eliminace výrobních nepřesností);
- pokud je celková hmotnost přípravku nad 15 kg (dle normy) a bude ho potřeba při práci snímat a opět vracet na stůl stroje, je potřeba jej opatřit rukojetmi;
- ustavování, upínání a vyjímání obrobku z přípravku musí být proveditelné v co nejkratším čase [17], [22].

2.4.2 VOLBA USTAVOVACÍCH PLOCH OBROBKU A JEHO SAMOTNÉ USTAVENÍ

Přípravek musí být ustaven ve stabilní poloze. Ustavení obrobku znamená zamezení jeho pohybu ve všech osách (3 posuvy a 3 rotace).

- Technologická základna – plocha obrobku, která je ve styku s opěrkami.
- Konstrukční základna – plocha (popř. přímka nebo bod) určující polohu součásti při její funkci. Většinou se na výkrese od této plochy kótuje. Pokud se technologická a konstrukční základny ztotožní v jednu plochu, což je ideální případ, nazýváme tuto plochu **hlavní technologickou základnou** [17].

Základní požadavky na ustavovací plochu jsou:

- co nejmenší vzdálenost od plochy obráběné;
- dostatečné rozměry, a tím zajištění dokonalé stability;
- mít již obrobený povrch z předchozích operací, pokud toto nelze, tak je vhodné hned po prvním obrobení tuto obrobenou plochu zvolit jako novou ustavovací plochu;
- ustavovacích ploch by mělo být pro jednu součást co nejméně, pokud je to možné pro více operací jedna společná [17], [22].

OPĚRNÉ A USTAVOVACÍ PRVKY

Jedná se o normalizované, komerčně snadno dostupné a tím pádem levné části přípravků, které slouží k určení polohy obrobku v přípravku. Dělí se do následujících kategorií podle toho, jaký tvar má ustavovaná plocha:

Pevné opěrné prvky (obr. 2-8a)

Jednoznačně ustavují obrobek v přípravku, čímž se dosáhne požadované polohy obrobku vzhledem k nástroji. Jejich výhodami je jednoduchá konstrukce, odolnost proti opotřebení, opakovatelná přesnost polohy při ustavování a snadná vyměnitelnost a nahraditelnost prvku po jeho porušení nebo ztrátě funkce. Opěrné prvky by měly být v přípravku rozmístěny tak, aby byly od sebe dostatečně daleko, což zvětšuje tuhost ustavení obrobku. Výsledné řezné síly by měly procházet plochou, která je těmito prvky ohraničena. Aby ustavovací plochy dosedly na dosedací plochy prvků co nejlépe, musí být styková plocha co nejmenší, kvůli čemuž jsou tyto prvky hodně silově namáhané, bývají proto tepelně zušlechťeny, popř. cementovány a kaleny. Patří sem např. opěrky s válcovými či šestihrannými hlavami, opěrné lišty, pevné boční opěrky nebo stavitelné opěrky [17].

Prizmatické opěrky (obr. 2-8b)

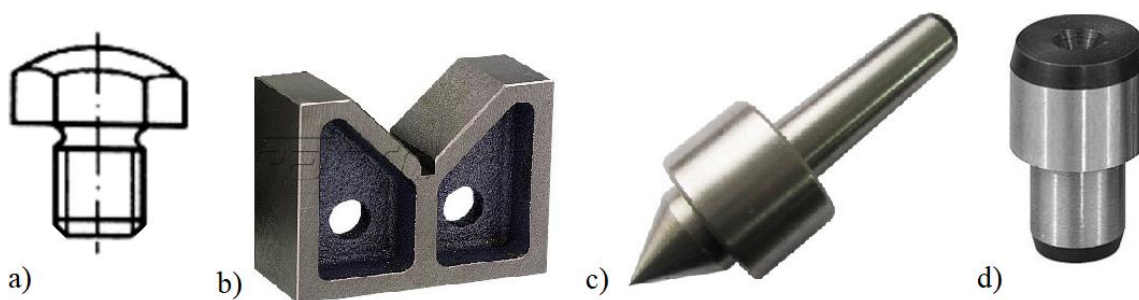
Slouží k ustavování válcových ploch obrobku. Úhel rozevření opěrných ploch bývá v rozsahu 60° až 120° , nejčastěji však 90° . Prizma vymezuje obrobek výškově a stranově, proto se v těle přípravku dále jistí dvěma kolíky a připevňuje se dvěma šrouby [17].

Kuželové opěrky (obr. 2-8c)

Jedná se o tzv. upínací hroty, které slouží k upínání dlouhých rotačních obrobků. Můžou být jak pevné, tak otočné, popř. můžou mít na svém čele unašeč pro přenos krouticího momentu a unášení obrobku [17].

Válcové opěrky (obr. 2-8d)

Slouží k ustavování obrobku za jednu nebo více vnitřních válcových ploch. U ustavování rotačních vnitřních válcových ploch se jedná o tzv. trny. Pro ustavování jedné nebo více přesných děr se používají válcové středící čepy a zploštělé středící čepy. Do tělesa přípravku jsou tyto prvky většinou zalisovány, nebo pouze zasunuty a pojištěny kolíkem, nebo šroubem a maticí v případech, kdy se očekává časté vyměňování těchto prvků z důvodu jejich opotřebení [17].



obr. 2-8 Opěrné a ustavovací prvky; a) pevná opěrka s šestihrannou hlavou [17]; b) prizmatická opěrka [18]; c) otočný upínací hrot [19]; d) středící válcový čep [20].

2.4.3 UPÍNÁNÍ OBROBKU

Po správném ustavení obrobku v přípravku je potřeba jeho polohu ustálit vhodným způsobem upnutí. Upnutí musí na obrobek vyvodit takové síly, které zabrání nežádoucímu pohybu obrobku. Při volbě způsobu upnutí je třeba dbát na velikost a směr řezných sil, které působí právě proti silám vzniklým upnutím. Upínacích zařízení se používá velké množství, liší se složitostí své konstrukce, velikostí upínacích sil, zdvihem, způsobem ovládání atd. Podle vyvození upínací síly lze upínací zařízení rozdělit takto [17]:

- mechanické (šroub s maticí, upínky, výstředníky, vačky, páky, klínové mechanismy, rozpínací trny, kleštiny atd.);
- pneumatické (vzduchové válce);
- hydraulické (hydraulické válce);
- elektromagnetické (elektromagnetické upínače).

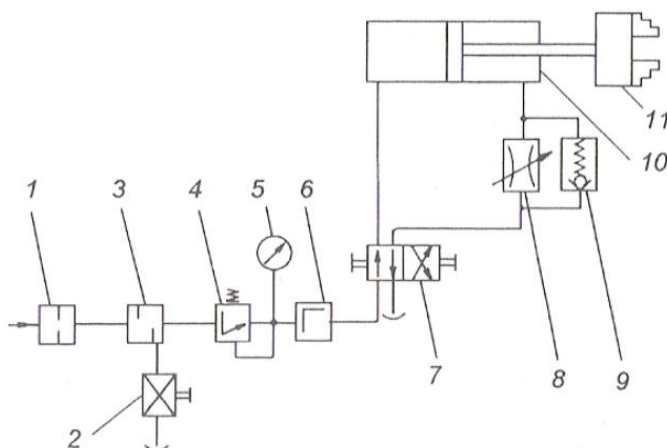
Dle zadání práce se předpokládá, že přípravek, který bude konstruován, bude ovládán hydraulicky, popř. pneumaticky. Tyto způsoby upnutí zajišťují dokonale tuhé upnutí v krátkém čase, což se dokonale hodí pro zadaný případ. Takto řešené přípravky bývají konstrukčně složitější a tím pádem i dražší, než např. přípravky s mechanickým upínáním. Vzhledem k velikosti předpokládané série je vyšší cena přípravku přípustná, jelikož návratnost nákladů na jeho konstrukci je zaručena.

Mechanické upínání

Je rozšířené hlavně v kusové výrobě, kde se nevyplatí investice do koupi a provozu hydraulických či pneumatických upínačů. Upínací síla je zde vyvozena mechanicky – pomocí šroubů, pružin, pákových převodů, tření atd. Mechanické upnutí zpravidla poskytuje menší upínací síly než ostatní druhy upnutí. Samotné upnutí obrobku je také pomalé a někdy pro obsluhu stroje náročné. Velkou výhodou je zde ale cena, která bývá řádově menší než u stejně velkých upínačů pneumatických či hydraulických. Další výhodou jsou také malé nároky na údržbu, či jednoduchost celého zařízení a tím pádem snadná opravitelnost. Patří sem např. strojní svěráky, univerzální sklíčidla, upínky, excentrické upínače atd.

Pneumatické upínání (obr. 2-9)

Je rozšířené hlavně ve středních a velkých provozech, kde se vyplatí provozovat kompresorovou stanici, která vyrábí stlačený vzduch a rozvádí ho k potřebným zařízením (v případě, že zdroj stlačeného vzduchu neposkytuje přímo konstrukce obráběcího stroje) [17]. Vzduch stlačený kompresorem prochází postupně čističem a odlučovačem (kde se čistí od nečistot a je zbaven zkondenzované vody), dále redukčním ventilem (který jeho tlak redukuje na tlak pracovní, tedy potřebný pro ovládání přípravku), maznicí s olejovou mlhovinou a rozdělovačem, který je většinou ručně ovládán a dle potřeby přivádí stlačený vzduch do samotného upínače. Ten je opatřen zpětným ventilem [17].



obr. 2-9 Schéma pneumatického upínání; 1 – čistič, 2 – vypouštěcí ventil; 3 – odlučovač vody, 4 – redukční ventil, 5 – manometr, 6 – mlhovač, 7 – manuální rozvaděč, 8 – škrťací ventil, 9 – zpětný ventil, 10 – pneumatický válec s pístnicí, 11 – upínač [17].

Hydraulické upínání (obr. 2-10)

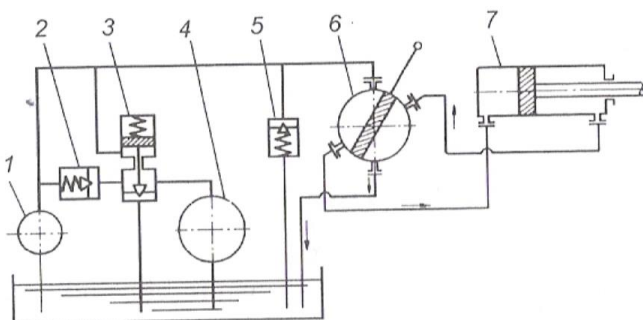
Výhody oproti pneumatickému upínání:

- menší rozměry;
- několikanásobně větší tlaky a díky tomu větší upínací síla;
- upnutí je tužší a spolehlivější (nestlačitelnost kapalin), což je zejména při obrábění, kdy vznikají rázy, velká výhoda.

Na druhé straně má oproti pneumatickému upnutí i několik nevýhod:

- složitější a tím i dražší konstrukce a výroba z důvodu složitějšího těsnění;
- choulostivost na nečistoty;
- nutnost zpětného odvádění kapaliny do nádrže.

Pracovním médiem je zde hydraulický olej, který je hydrogenerátorem (čerpadlem) opět rozváděn do okruhu a přiváděn dle potřeby z rozvaděče do samotného upínače. Hydraulický okruh může být proveden několika způsoby. Na obr. 2-9 je např. uveden okruh se dvěma čerpadly, kdy to vysokotlaké dodává tlak potřebný pro samotné upnutí, a to nízkotlaké dodává velké množství kapaliny o nižším tlaku k potřebné rychlosti při pohybu upínače naprázdno [17].



obr. 2-10 Schéma hydraulického upínání; 1 – vysokotlaké čerpadlo, 2 – zpětný ventil, 3 – odlehčovací ventil, 4 – nízkotlaké čerpadlo, 5 – přepouštěcí ventil (regulátor tlaku), 6 – čtyřcestný ventil, 7 – hydraulický válec s pístnicí [17].

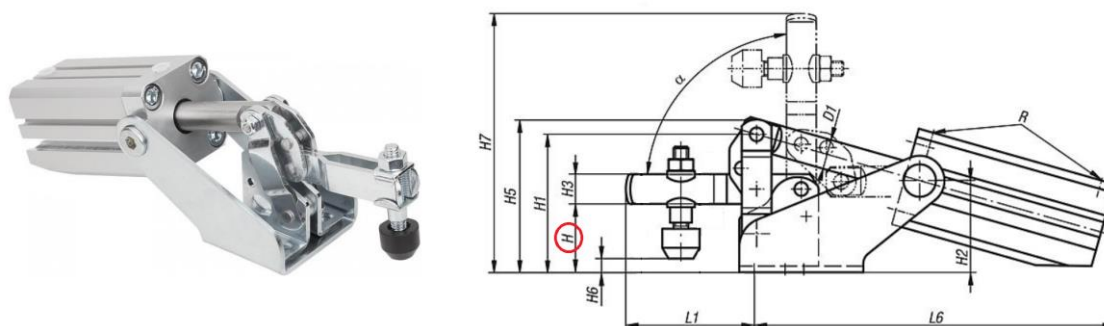
Pneumaticko-hydraulické upínání

Tento způsob je kombinací obou předchozích a používá se pro konstrukční výhody pneumatického upínání a pro výhody velkých upínacích sil, které poskytuje upínání hydraulické [17]. Příkladem mechanismu fungujícím na tomto principu je pneumaticko-hydraulický zesilovač, tzv. multiplikátor. Má dvě části – nízkotlakou (pneumatickou – vstupem je atmosférický tlak) a vysokotlakou (hydraulickou – vstupem je výstupní tlak z části pneumatické). Výstupní tlak je potom vyšší než při použití dílčích mechanismů při dodržení nízkých nákladů a malé velikosti zařízení [17], [21].

KOMERČNĚ DOSTUPNÉ UPÍNACÍ PRVKY

Snahou konstrukce jakéhokoliv přípravku je, aby co nejvíce jeho částí bylo normalizováno. Použití těchto normalizovaných, a tím pádem dobře komerčně dostupných prvků se zásadně snižuje cena celého přípravku. Navíc, při případné poruše některé z těchto částí se použitím komerčně dostupných prvků razantně zkracuje čas, po kterou je přípravek mimo provoz. Upínacích prvků je na trhu nepřeberné množství. Dále budu uvádět hlavně ty, které by se teoreticky daly použít v řešeném případě.

Pneumatický upínač NORELEM (obr. 2-11)



obr. 2-11 Pneumatický upínač od společnosti NORELEM [23], [24].

Díly páky jsou zhotoveny z ocelového plechu, osové čepy z nerezové oceli. Do pneumatického dvojčinného válce je přiváděn stlačený vzduch a ten přes pákový mechanismus vyvozuje na konci páky upínací sílu. Díky lomené páce je zajištěno, že i při výpadku dodávky stlačeného vzduchu zůstane upínač uzavřený. Koncový převod pákového mechanismu je velký, proto je spotřeba stlačeného vzduchu malá. Vyklápěním upínacího ramene se docílí velké otevírací dráhy. Výsledná upínací síla závisí na tom, jestli je upínací bod na konci upínacího ramene (síla F_1), nebo jestli je blíže bodu otáčení páky (síla F_2) [23], [24].

tab. 2-4 Parametry pneumatických upínačů od společnosti NORELEM [24].

Objednací číslo	Rozměr H (viz obr. 2-10) mm	Max. upínací síla F_1/F_2 kN	Cena €
05331-01	21	0,2/0,3	218,71
05331-02	26	0,7/1	231,71
05331-03	36,5	0,65/1,1	248,85
05331-04	45	1,5/2,2	338,11

Pneumatický upínač s posuvnou tyčí NORELEM (obr. 2-12)



obr. 2-12 Pneumatický upínač s posuvnou tyčí od společnosti NORELEM [25].

Páka a posuvná tyč jsou z oceli, základní těleso je z temperované litiny. Provedení je velice tuhé, zaručuje dlouhou životnost. Pneumatický dvojčinný válec od společnosti FESTO je poháněn stlačeným vzduchem a přes pákový mechanismus ovládá posuvnou tyč, která slouží k vyvození upínací síly. Rozdíl oproti upínačům bez posuvné tyče je ten, že upínací síla zde působí v horizontálním směru, a proto lze tento upínač použít jako tlakový i jako tahový [25], [26]. Upínací prvky podobné konstrukce fungující na stejném principu jsou produkovány i jinými společnostmi, např. Kipp.

tab. 2-3 Parametry pneumatických upínačů s posuvnou tyčí od společnosti NORELEM [26].

Objednací číslo	Zdvih mm	Max. upínací síla kN	Cena €
05340-03	20	2,5	335,51
05340-05	32	5	411,68
05340-07	40	10	622,37

Pneumatický upínač svislý v těžkém provedení NORELEM (obr. 2-13)



obr. 2-13 Pneumatický upínač svislý v těžkém provedení od společnosti NORELEM [27], [28].

Konstrukce je zhotovena ze zušlechtěné oceli. Princip práce je obdobný jako u předešlých pneumatických upínačů. Pneumatický válec je opět dvojčinný. Výhodou je zde robustní a tím pádem maximálně tuhá konstrukce. Upínací síla působí po celé délce páky, není zde žádný šroub s dotykem, který by zajišťoval kontakt pouze na malé ploše jako u předchozích případů. Tento upínač je tedy vhodný pro upínání za delší rovinné plochy. Výsledná upínací síla opět závisí na tom, jestli se upíná částí na konci upínacího ramene (síla F1), nebo částí blíž k ose rotace upínacího ramene (síla F2) [28].

tab. 2-4 Parametry pneumatických upínačů svislých v těžkém provedení od společnosti NORELEM [28].

Objednací číslo	Rozměr H (viz obr. 2-12) mm	Max. upínací síla F1/F2 kN	Cena €
05350-04	57	1,5/2,2	565,77
05350-06	61	2,5/3,5	779,39
05350-08	86	4/6	1 063,54

Soustředný hydraulický upínač MC-P ZH ROEMHELD (obr. 2-14)



obr. 2-14 Soustředný hydraulický upínač MC-P ZH společnosti ROEMHELD [29].

Tento upínač vyniká svou kompaktní velikostí, díky které mají nástroje k obrobku dokonalý přístup. Je vhodný pro pětiosé obrábění. Konstrukce je velice tuhá a znemožňuje jakékoliv deformace způsobené řeznými silami. Všechny důležité části tohoto upínače jsou vyrobeny z pevné, tepelně zpracované oceli. Upínač je soustředný, tedy obě čelisti se pohybují závisle na sobě a od středu mají obě vždy stejnou vzdálenost. Velikost upínací síly je dána regulací tlaku hydraulického média, maximální hodnoty jsou však uvedeny v tabulce 2-5. Vedle hydraulického provedení, lze tento upínač objednat i s ovládáním mechanickým (pak se model označuje jako MC-P Z), ten se pak ovládá aretačním šroubem v horní části upínače [29]. Ceny těchto upínačů nejsou na stránkách výrobce zveřejněny, v tabulce je tedy neuvádím.

tab. 2-5 Parametry soustředného hydraulického upínače MC-P ZH od společnosti ROEMHELD [29].

Objednací číslo (označení modelu)	Zdvih mm	Max. upínací síla kN	Tlak při max. upínací síle bar
9 4583 0401 (MC-P 60 ZH)	60	10	320
9 4585 0401 (MC-P 100 ZH)	100	20	270
9 4586 0401 (MC-P 125 ZH)	125	35	270

Hydraulický upínač Kurt Vise Base 6“ (obr. 2-15)



obr. 2-15 Hydraulický upínač Vise Base 6“ společnosti Kurt [40].

Tento upínač vyniká tím, že se do něj dají upnout rovnou dvě součásti naráz. Obě posuvné čelisti se pohybují k té středové pevné současně. Pokud má ale jedna z upínaných součástí jiný rozměr než druhá, ta větší se upne, pohyblivá čelist u té menší se nezastaví a dál se hýbe pouze tato, nezávisle na druhé, dokud se neupne i součást menší. Upínač poskytuje velice přesné upnutí, výrobce garantuje opakovatelnost upnutí s přesností 0,005 mm. Konstrukce je velice tuhá a robustní, minimalizuje vibrace vnášené strojem. Hydraulické médium je přiváděno čelem upínače a ovládání je zajištěno malou páčkou na hydraulickém rozvaděči. Středová pevná čelist je k tělesu upevněna pomocí středících čepů, lze ji tedy vyjmout a použít jinou, tvarově více vyhovující. Upínač je k dostání jak s manuálním, tak s hydraulickým ovládáním [30].

tab. 2-6 Parametry hydraulického upínače Vise Base 6“ od společnosti Kurt [30].

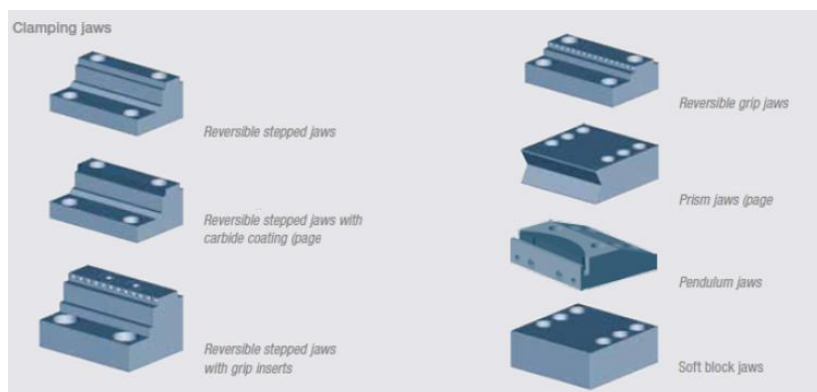
Označení modelu	Zdvih jedné čelisti mm	Max. upínací síla kN	Tlak při max. upínací síle bar	Cena \$
HDHLM6J	103	31,5	310	2 889

Hydraulický samo-středící upínač HZS A SPREITZER (obr. 2-16)



obr. 2-16 Hydraulický samo-středící upínač HZS A společnosti SPREITZER [31].

Tento systém pracuje na jednoduchém principu – přívodem hydraulického média jsou obě čelisti zároveň stahovány k sobě. Velkou výhodou je možnost objednání jiných čelistí než těch základních (obr. 2-17), čehož se dá využít při upínání tvarově složitějších součástí. Celý systém je vyroben z kalené oceli, funkční povrchy jsou dokonale broušeny. Upínač vyniká velice krátkými dobami upnutí. Pro nepřetržité provozování je možné upínač vybavit centrálním mazacím systémem. Upínač vyniká kompaktními rozměry a velkými upínacími silami. Výrobce garantuje opakovatelnost upnutí s přesností 0,003 mm [31].

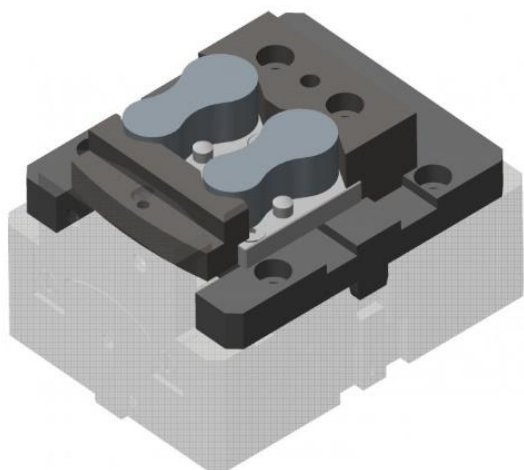


obr. 2-17 Možné tvary upínacích čelistí upínače HZS A [31].

tab. 2-7 Parametry hydraulického samo-středícího upínače HZS A od společnosti Spreitzer [31].

Označení modelu	Zdvih jedné čelisti mm	Max. upínací síla jedné čelisti kN	Tlak při max. upínací síle bar
HZS 180-100 A	20	16	140
HZS 250-100 A	30	18	140
HZS 300-125 A	30	25	140

Hydraulický modulární svěrák DHMS DEPROX (obr. 2-18)

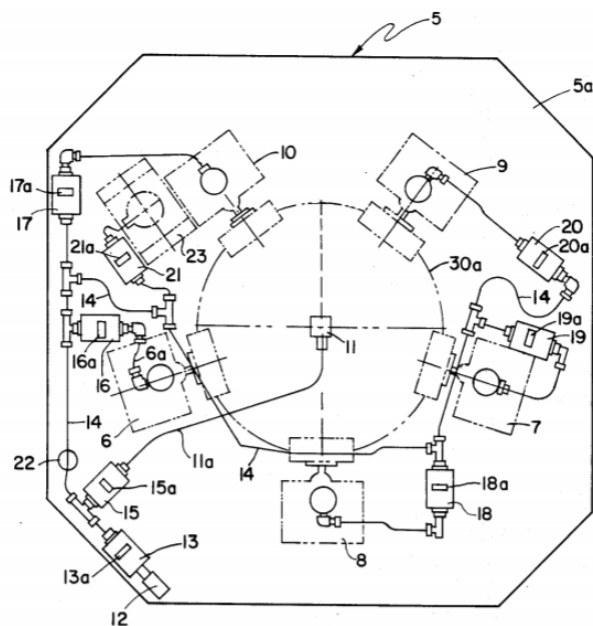


obr. 2-18 Hydraulický modulární svěrák DHMS od společnosti DEPROX [32].

Základní těleso upínače slouží k rozvedení hydraulické kapaliny do válců pístů, které jejím působením přes pákový mechanismus stlačují obě čelisti svěráku zároveň k sobě. Obrovskou výhodou je zde možnost velice rychlé přestavby přípravku na jiný typ obrobku pouze výměnou nadstavby, tedy výměnou středového tělesa, jehož tvar určuje tvar obrobku. Běžně se do svěráku upíná víc obrobků naráz (1 až 4). Nástroj má optimální přístup k obrobku, čehož se dá dokonale využít pro víceosá obráběcí centra a pro robotické zakládání na automatizovaných linkách. Čelisti přípravku jsou výklopné, což zajišťuje opakovatelné upnutí obrobku. Výrobce garantuje opakovatelnost upnutí s přesností 0,02 mm [32].

tab. 2-8 Parametry hydraulického modulárního svěráku DHMS od společnosti DEPROX [32].

Označení modelu	Zdvih jedné čelisti mm	Max. upínací síla jedné čelisti kN	Tlak při max. upínací síle bar
DHMS 16	n/a	12	150
DHMS 25	n/a	12	150

Hydraulický upínací systém US4669161A (obr. 2-19)

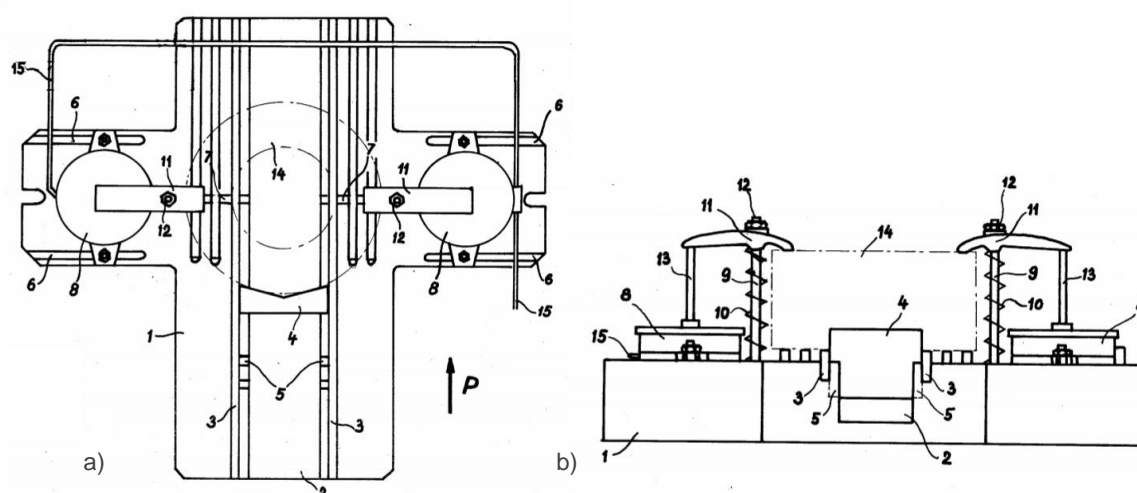
obr. 2-19 Hydraulický upínací systém US4669161A [33].

Na odlité základně (5) je situován celý hydraulický obvod. Obrobek se umístí do místa (30a) mezi čelistmi. Hydraulické médium potom pod tlakem cca 20 MPa vstupuje do obvodu přes samouzávěrný ventil (12), který hlídá maximální tlak v obvodu a v případě přetížení se uzavře. Z něj pak médium proudí přes centrální vstupní zpětný ventil (13) do rozvodních zásobovacích hadic (14) a do zpětného ventilu (15). Ze zpětného ventilu (15) proudí médium hadicí (11a) do ustavovacího prvku (11), jehož úkolem je ustavení obrobku ve správné poloze pro jeho následné upnutí. Z hadic (14) potom tedy médium proudí do několika zpětných ventilů (16 až 20), kde je každý určen pro jednu upínací čelist (6-10), čímž je umožněn jejich pohyb nezávisle na ostatních. Tímto se vyvodí upínací síla a jednotlivé čelisti upnou obrobek [33].

V obvodu se nachází regulátor průtoku (22), který má za úkol regulovat průtok média k čelistem, než se uvede do chodu ustavovací prvek (11) a obrobek je správně upnut [33].

Pokud se zdroj tlaku odpojí, nedojde k odepnutí čelistí. Toto se děje z důvodu použití zpětných ventilů (16 až 20) u každé čelisti, vstupního zpětného ventilu (13) a samouzávěrného ventilu (12), čímž je zapříčiněno, že médium nemá po odpojení čerpadla kudy uniknout. Díky tomuto je možné upínač odpojit od zdroje a pokud je to potřeba, přemístit ho z jedné pracovní stanice na druhou bez nutnosti odepnutí obrobku. Tato konstrukce je také skvělou ochranou při výpadku dodávky tlaku, při které takto nedojde ke ztrátě funkce jednotlivých upínacích čelistí [33].

Pneumatický upínací přípravek CS204460B1



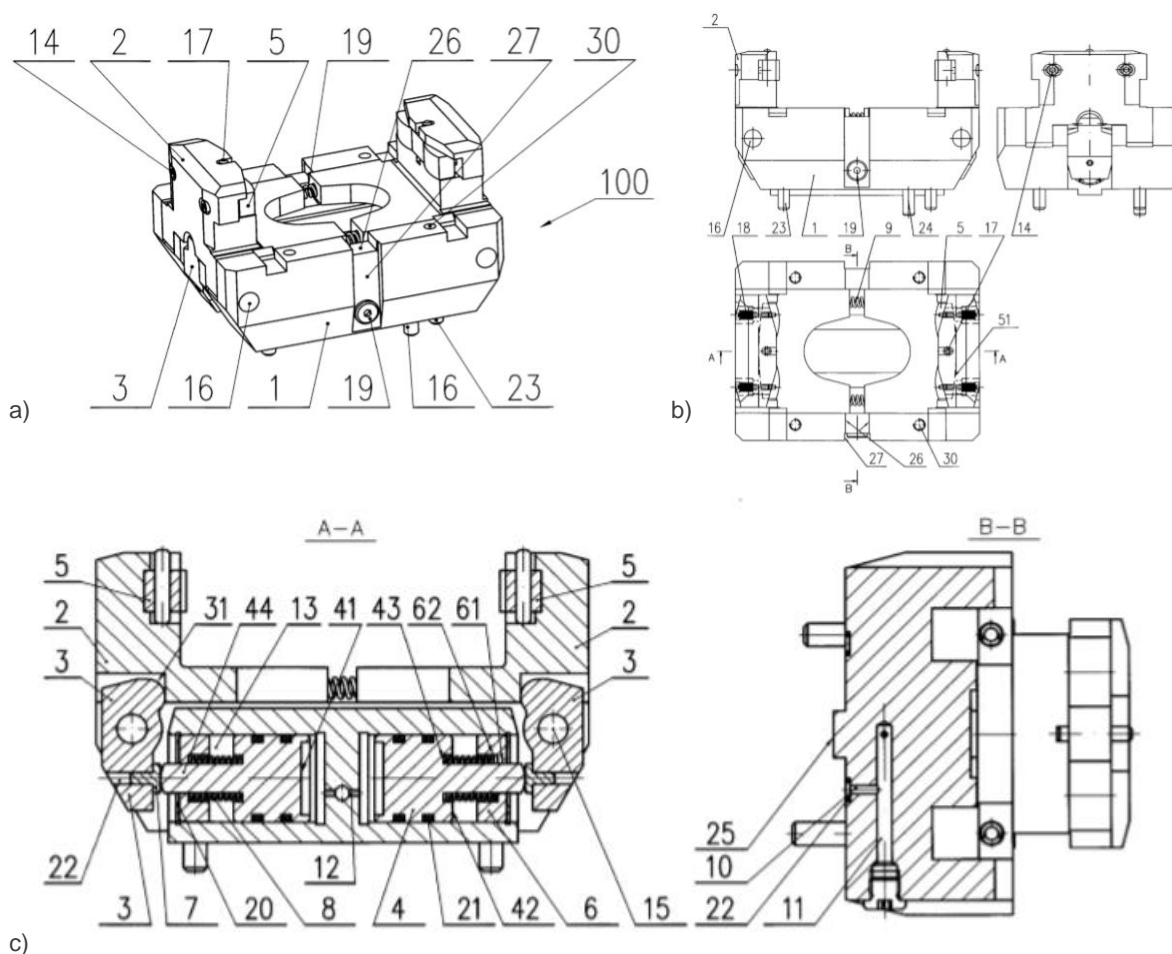
obr. 2-20 Pneumatický upínací přípravek CS204460B1; a) půdorys b) pohled P (viz a)) [34].

Přípravek (obr. 2-20) sestává ze základní desky (1), ve které je vytvořena drážka (2) s vodítky (3), sloužící k ustavení prizmatického dorazu (4), který je na základní desce zafixován pomocí výřezů (5). Drážky (6) slouží pro přestavování pneumatických válců (8) a drážka (7) slouží k přestavování dříků (9), které jsou obepnuty tlačnými pružinami (10). Nahoře na dříku jsou upevněny dvouramenné páky (11), které jsou zajištěny maticemi (12). Delší ramena dvouramenných pák jsou ustaveny tak, aby protínaly dráhy pístnic (13) pneumatických válců. Kratší ramena pák slouží k vyvození upínací síly na upínaný obrobek (14) [34].

Po přívodu pneumatického média pod tlakem se tedy pístnice vysunou z pneumatických válců, nadzvednou delší ramena pák, čímž se kratší ramena pohybují směrem dolů a vyvozují upínací sílu na obrobek. Koncová poloha obrobku na základové desce je vymezena prizmatickým dorazem. K odepnutí stačí přerušit dodávku stlačeného vzduchu, čímž se pístnice zasunou zpět do válců a upínky (páky) obrobek uvolní [34].

Při použití pro zadaný případ by bylo potřeba udělat několik změn v konstrukci přípravku při zachování stejného principu funkce. Dříky a pístnice by kvůli malé výšce obrobku musely být velmi krátké, muselo by se nejspíš použít obráběcího centra s vřetenem pracujícím v horizontálním směru (horní část obrobku by zakryla upínka) a taky by se musel vyměnit dorazový prvek kvůli ustavování za jinou plochu než kruhovou, což ale tento přípravek dle popisu umožňuje. Místo prizmatického dorazu by šel použít například rovinný prvek nebo tvarový prvek kopírující hranu obrobku.

Hydraulická upínací jednotka pro upínání tvarově rozdílných součástí CZ2005628A3

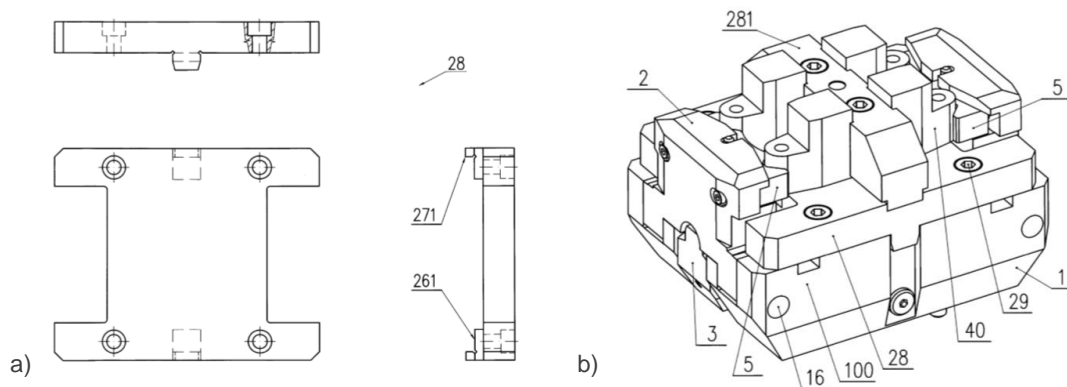


Obr. 2-21 Hydraulická upínací jednotka pro upínání tvarově rozdílných součástí CZ2005628A3; a) 3D pohled na upínací jednotku; b) základní pohledy na upínací jednotku; c) řezy upínací jednotkou [35].

Hlavní nevýhodou většiny upínacích zařízení na trhu je to, že pro každý typ obrobku je potřeba nový typ přípravku, což je ekonomicky velice nevýhodné. Tento problém je částečně eliminován použitím tzv. stavebnicových přípravků, kdy se potřebný přípravek skládá z normalizovaných dílů. Ani zde ale není ekonomická efektivita moc vysoká a použití těchto přípravků je hodně omezené a neuniverzální. Tyto problémy eliminuje použití této hydraulické upínací jednotky (obr. 2-21). Vyměněním nadstavby za tvarově jinou lze totiž jednotku přestavit na přípravek pro zcela novou součást [35].

V těle (1) jednotky (100) jsou vytvořeny kanály (10,11,12) pro rozvod hydraulického média. Ta je do těla přiváděna prvním z kanálů (10). V těle jednotky jsou v horizontálním směru vytvořeny dva válce (13) a v nich uloženy protiběžné písty (4). Pod čela (41) pístů je přiváděno hydraulické médium, a tím se písty začnou pohybovat od sebe. Pohybem pístu se začne stlačovat pružina (8), která je jednou stranou uložena v pístu a druhou stranou ve víku (6) válce [35].

Hydraulická jednotka je připevněna k hydraulické základně (obr. 2-22) (200) šrouby (23), perem (25) vytvořeným na těle a kolíkem (24) a prvním kanálem (10) je napojena na okruh. Základna je připevněna k desce (300) CNC stroje [35].



Nadstavba (28) (obr. 2-23a) je upevněna na tělo pomocí čtyř šroubů (29). Tvar nadstavby závisí na požadavku tvaru obrobku. Nadstavba se zajistí křížovými drážkami (26 a 27) a tvarovými prvky na nadstavbě (261 a 271) (obr. 2-23b) – ty jsou na každém typu nadstavby stejné. Pomocný upínací prvek (281) zajišťuje ustavení jednoho, popř. více obrobků. V případě rozměrného obrobku je možné vyjmutí jedné z upínek, přičemž se musí konstrukčně upravit nadstavba tak, aby obrobek mohl zasahovat až do oblasti vyjmuté čelisti [35].

3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

3.1 ANALÝZA PROBLÉMU

Celý přípravek se konstruuje s přihlédnutím na co největší efektivitu výroby. Předpokládá se velká série, kde i ušetření času v rámci zlomků sekund znamená ve výsledku velké ušetření nákladů. Pro maximální efektivitu je vhodné volit co nejmenší počet upnutí při obrábění. V tomto případě jsou to upnutí dvě, čehož docílím správnou volbou stroje. Důležité je taky volit správný materiál a správný způsob upnutí.

Od použitého materiálu je vyžadována velmi dobrá obrobitelnost, korozivzdornost, vhodnost k pájení a dobrá dostupnost polotovarů. Dle tabulky 2-1 a dle shrnutí v kapitole 2.2.1 se pro tyto požadavky nejlépe hodí slitina Al-Mg-Mn s označením EN AW 5083.

Polotovarem bude extrudovaný profil (obr. 3-1a), který bude už do značné míry kopírovat tvar hotové součásti (obr. 3-1b). Výroba takového polotovaru není složitá, v praxi se takto dají vyrábět mnohem komplikovanější profily (viz kap. 2.2.9), ale rozhodně je dražší než obyčejná čtyřhranná tyč. U takto velké série ale použití takového polotovaru ušetří velké množství času a ve výsledku bezpochyby sníží náklady, počet potřebných upnutí a tím i celkový čas obrábění.

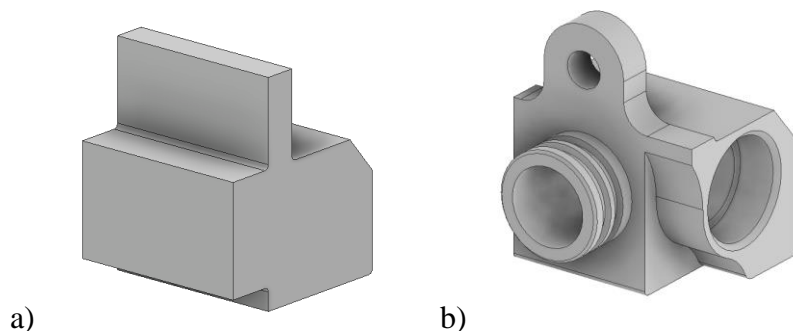
Nejdůležitějším parametrem použitého obráběcího centra je možnost více než tříosého obrábění a možnost vícestolové konstrukce (měniče palet), díky které může obsluha stroje upínat nové polotovary, zatímco ty předchozí jsou obráběny. Velkým přínosem produktivity je také konstrukce s více vřeteny. Podle tabulky 2-2 a podle shrnutí v kapitole 2.2.6 se jako nejvhodnější jeví stroj G520 společnosti GROB-WERKE (obr. 3-2).

Jako nejvhodnější typ upínání jsem zvolil upínání hydraulické, které exceluje velkými upínacími silami a velkou tuhostí upnutí. V kapitole 2.3.3 jsou nejprve rozebrány komerčně dostupné upínací přípravky, jako druhé jsou pak rozebrány použitelné patentové řešení. Tyto přípravky nebyly shrnuty do tabulky, protože každý z přípravků dominuje něčím jiným a shrnutí v tabulce by tak nebylo vypovídající. Při výběru z těchto komerčně dostupných i patentových řešení jsem se soustředil hlavně na to, aby případná úprava přípravku pro mé konkrétní zadání byla co nejjednodušší a nejlevněji proveditelná. Nejlépe z tohoto výběru vyšel přípravek DoubleLock Visés DLH800 společnosti KURT (obr. 3-3). Na tomto přípravku jdou vyměnit obě čelisti i středový doraz, který bude potřeba vyměnit za tvarově složitější, vhodnější pro tvar naší součásti.

3.2 CÍL PRÁCE

Cílem práce je definovat způsob upínání a podle toho potom navrhnout konstrukci konkrétního upínacího systému, přičemž se musí přihlížet na maximální produktivitu a efektivitu výroby. Předpokládá se série 500 000 kusů ročně.

Materiálem vyráběné součásti je slitina EN AW 5083. Tvar hotové součásti i polotovaru je vyobrazen na obrázku 3-1. Polotovarem bude již zmíněná extrudovaná tyč, která do velké míry kopíruje tvar hotové součásti. Součást bude vyrobena na dvě upnutí.



obr. 3-1 Vyráběná součást: a) polotovaz, b) dokončená.

Součást bude vyrobena na obráběcím centru G520 od společnosti GROB-WERKE. Bude použita konstrukce se dvěma vřetený a s integrovaným měničem palet.



obr. 3-2 Obráběcí centrum GROB G520 s integrovaným měničem palet [6].

Pro upnutí bude použit upínací systém Vise Base 6“ společnosti KURT.

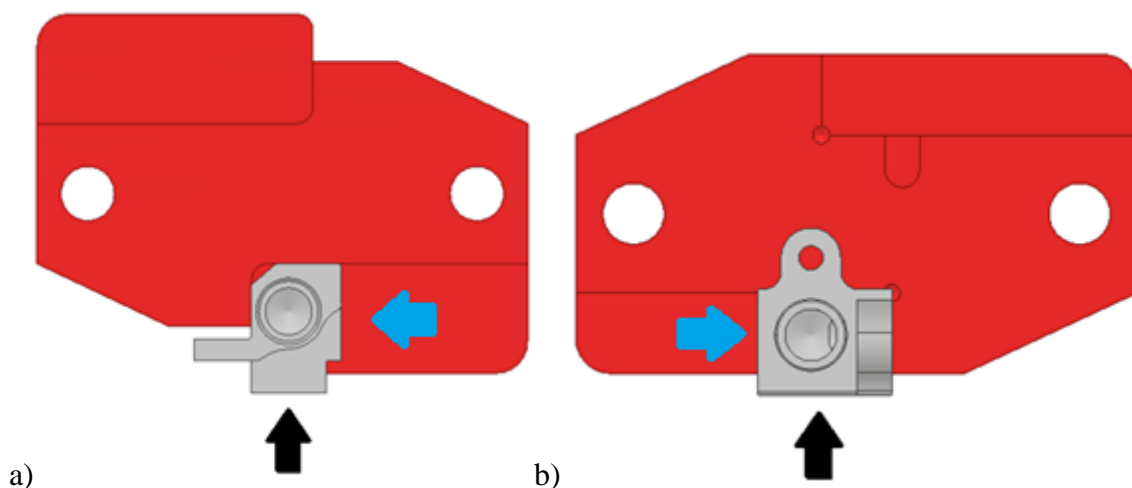


obr. 3-3 Hydraulický upínač Vise Base 6“ od společnosti Kurt [30].

4 KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ

Vzhledem k použití takto tvarovaného polotovaru (viz předchozí kapitola) se výroba velice usnadní a urychlí. Jak bylo definováno, na zhotovení součásti budou stačit pouze dvě upnutí a pro každé z nich bude potřeba jiný středový doraz. Vzhledem k tomu, že je již definován konkrétní upínací systém, tak se koncepty budou lišit pouze tím, kterou plochu součásti umožní obrobit jako první. Z toho tedy vychází dva následující koncepty. U obou se počítá s tím, že budou upnuty dvě součásti zároveň. U schémat konceptů je vždy součást jen jedna, aby na druhé straně bylo zřetelnější, jak vypadá tvar dorazu. Černá šipka indikuje směr upínací síly od čelisti, modrá šipka pak indikuje sílu k dotlačení od pružné opěrky.

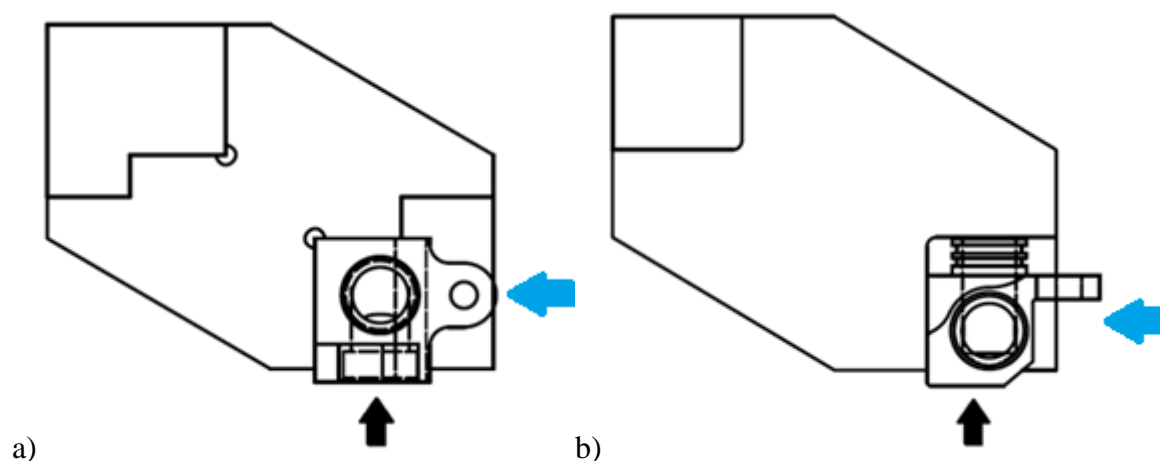
4.1 KONCEPT 1



obr. 4-1 Koncept 1: a) doraz pro 1. upnutí, b) doraz pro 2. upnutí.

Součást během obou upnutí dvěma svými plochami dosedá na kolmé plochy dorazu (obr. 4-1), ze třetí strany ji ještě ustavuje tlačná opěrka a ze strany čtvrté působí upínací síla čelisti. Obě upnutí umožňují upnutí za velké plochy, což má za následek velkou tuhost upnutí. U druhého upnutí je třeba dbát na to, aby po vyvrtání menší díry nekolidoval nástroj s dorazem, což je ošetřeno vyhloubenou drážkou.

4.2 KONCEPT 2



obr. 4-2 Koncept 2: a) doraz pro 1. upnutí, b) doraz pro 2. upnutí.

Tento koncept (obr. 4-2) se od předešlého liší pouze tím, že první je zde obráběna ta plocha, která se v minulém případě obráběla jako druhá. Princip ustavení je podobný. Odpadá zde riziko kolize nástroje s dorazem po vyvrtání malé díry během prvního upnutí, protože nástroj má pod dírou velký prostor. Naopak nevýhodou je zde to, že při druhém upnutí součást na plochu dorazu dosedá pouze plochou mezikruží vzniklou vyfrézováním čepu a vyvrtáním díry v něm během předchozího upnutí. Tato malá plocha by mohla mít za následek nižší tuhost upnutí.

5 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

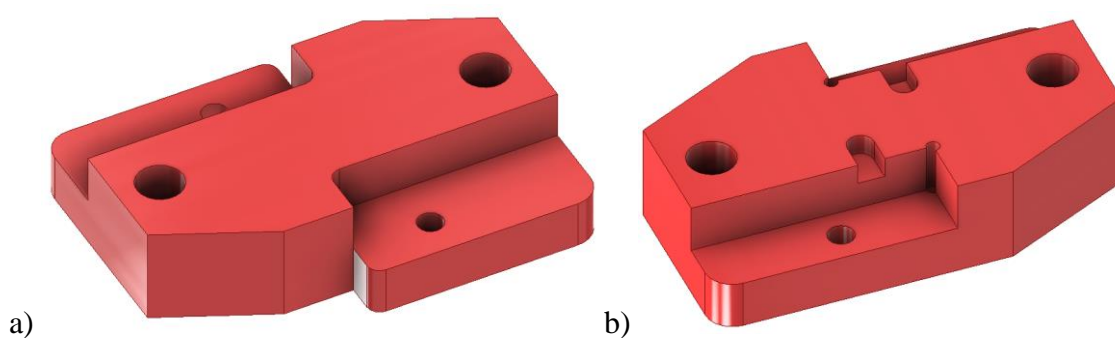
5.1 VÝBĚR KONCEPTU

Uvedené koncepty mezi sebou nemají mnoho výhod a nevýhod, protože jejich princip je velice podobný. Jediný problém může vznikat při použití konceptu 2, kdy by při 2. upnutí mohla klesat tuhost upnutí z důvodu malé upínací plochy. Toto by šlo řešit např. tím, že by v tělese dorazu byl středící čep, který by ustavoval vnitřní válcovou plochu (díru v čepu) a tuhost upnutí tak zlepšoval. Řešení se ale zdálo zbytečně složité v porovnání s konceptem č. 1, a z toho důvodu byl tento nakonec zvolen pro konstrukční řešení a rozpracován do formy 3D modelů (obr. 5-1) a výkresové dokumentace.

Upevnění dorazů k tělesu upínače muselo respektovat původní způsob navržený výrobcem upínače. Původní středový doraz je k tělesu upínače připevněn tak, že v tělese jsou ustaveny dva středící čepy přesně definující polohu dorazu. Na těchto čepích jsou navlečena pouzdra, ve kterých je šroub s válcovou hlavou, jehož povolováním je umožněno uvolnění a vyjmutí středového dorazu. Z tohoto důvodu tedy připojovací rozměry navrhovaného středového dorazu kopírují připojovací rozměry dorazu původního.

Ze dvou stran součástka dosedá na doraz, z třetí strany působí upínací síla čelisti upínače a ze zbývajících stran působí síla od pružné boční opěrky od výrobce KIPP [48]. K jejímu ustavení slouží díra $\varnothing 10$ v ploše, na které leží obráběná součást.

Středové dorazy budou vyrobeny z oceli 16MnCr5 (14 220 dle ČSN), která je vhodná k cementování, což zaručí jejich velkou životnost.



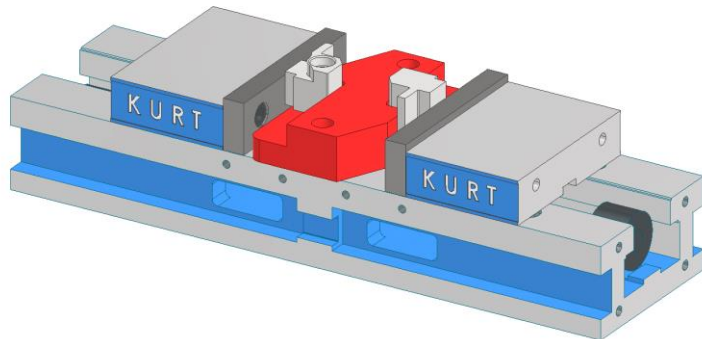
obr. 5-1 3D modely středových dorazů: a) pro 1. upnutí, b) pro 2. upnutí.

5.2 ROZVRŽNENÍ UPÍNACÍCH JEDNOTEK PŘI OBRÁBĚNÍ

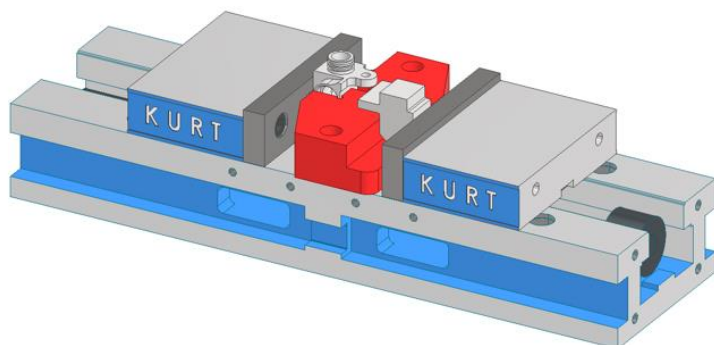
Jedna upínací jednotka bude sestávat z hydraulického upínače Kurt Vise Base 6“, z kterého bude odstraněno středové těleso a nahrazeno jiným, tvarově vhodnějším. Pro každé upnutí je speciálně navrženo jedno středové těleso a při každém obrábění budou v jedné upínací jednotce upnuty zároveň dvě součásti (pro každou čelist upínače jedna).

Dále je potřeba stanovit, kolik těchto jednotek se na pracovní stůl upne najednou. Konstrukce stroje je dvouvřetenová, proto je logické volit sudý počet jednotek, aby jedno z vřeten nestálo během provozu toho druhého. Vzhledem k tomu, že velikost pracovního prostoru stroje je 750x840 mm [5], velikost jedné upínací jednotky je 152,4x533,4 mm [30] a vzdálenost os vřeten je 800 mm [5], tak jediný možný a logický počet upínacích jednotek jsou 2. Menší počet zvolit nelze z důvodu prostoru jednoho z vřeten. Větší počet (4,6,8...) volit nelze také, protože na šířku pracovního prostoru se za sebe víc jednotek nevejde a kdyby se jich poskládalo víc na délku pracovního prostoru, nedosáhly by k nim oba nástroje současně z důvodu jejich vzájemné vzdálenosti.

Během obrábění jak při prvním, tak při druhém upnutí budou tedy na pracovním stole stroje upnuty dvě upínací jednotky současně, z nichž v každé budou upnuty 2 obrobky (obr. 5-2 a obr. 5-3).



obr. 5-2 Sestava 1. upnutí: vlevo upnuta součást po 1. upnutí, vpravo polotovár.



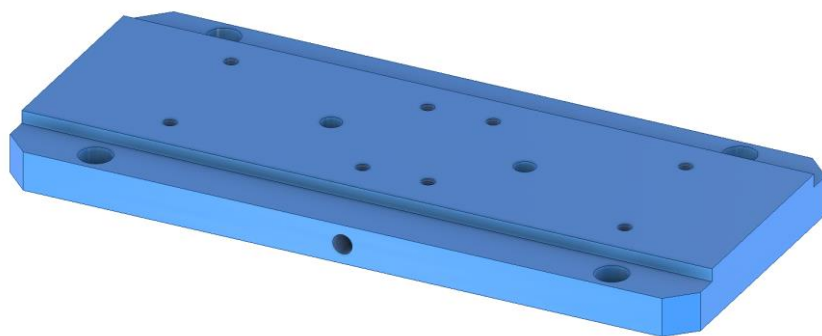
obr. 5-3 Sestava 2. upnutí: vlevo upnuta dokončená součást, vpravo součást mezi 1. a 2. upnutí.

5.3 UPÍNACÍ DESKA

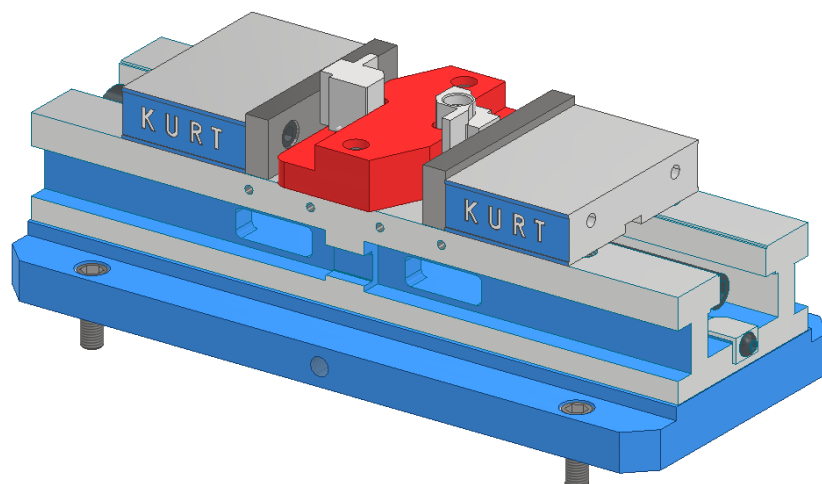
Z toho důvodu, že připojovací rozměry upínače se neshodují s připojovacími rozměry na stole obráběcího centra, se musela navrhnout upínací deska, která bude sloužit jako mezikus mezi upínačem a stolem stroje. Připojovací rozměry upínače byly zjištěny z internetových stránek výrobce zvoleného upínače [30]. Potřebné rozměry palety stolu obráběcího centra byly zjištěny navázáním kontaktu se zastoupením firmy GROB-WERKE pro ČR a SR – se společností IMTOS (příloha 10).

Těleso upínače je k desce připevněno pomocí osmi šroubů M12. Poloha je dále zajištěna dvěma čepy Ø16. Upínací deska je potom připevněna k paletě stolu obráběcího centra pomocí čtyř šroubů M16 a poloha je opět zajištěna dvěma čepy Ø25.

Ze spodní strany jsou uprostřed 2 díry, které vyústí na bocích desky. Tyto díry vytvoří kanály pro přívod hydraulického média k ovládání upínače. Těsnění je řešeno přímo v paletě stolu stroje pomocí O-kroužku, proto už není na upínací desce řešeno nijak.



obr. 5-4 Upínací deska.



obr. 5-5 Sestava 1. upnutí připevněna k upínací desce.

5.4 VÝPOČET STROJNÍCH ČASŮ

Dále bylo potřeba vypočítat časy jednotlivých obráběcích operací. Tyto časy se pak porovnají s odhadovaným časem, který bude obsluha stroje potřebovat k vyjmutí obrobků, založení nových a ostatním úkonům s tímto spojených. Vzhledem k tomu, že bude použita dvoustolová konstrukce stroje (konstrukce s měničem palet), nesmí vznikat velký rozdíl mezi těmito časy, aby nedocházelo k velkým prostojům stroje nebo obsluhy. V takovém případě by se řešení muselo vhodným způsobem optimalizovat (jiný stroj, jiný upínač...).

Výpočet vychází z toho, jaké nástroje budou použity. V tabulce 5-1 jsou shrnuty všechny tyto nástroje včetně jejich hlavních parametrů a řezné rychlosti v_c . Při jejich výběru jsem vycházel z běžně komerčně dostupných nástrojů [36], [37], [38], [39] a při volbě řezných podmínek jsem vycházel z doporučení konkrétních výrobců těchto nástrojů [36], [37], [38], [39]. V případě chybějících informací o řezných podmínkách v portfolio výrobce nástrojů jsem vycházel z obecných informací vztahujících se k obrábění slitin hliníku [41].

tab. 5-1 Seznam použitých nástrojů, jejich základních parametrů a řezných podmínek [36], [37], [38], [39].

Pozice nástroje i	Druh nástroje	Průměr $\varnothing D_i$ mm	Řezná rychlost v_{c_i} $m \cdot min^{-1}$	Počet zubů z_i —	Posuv na zub f_{z_i} mm	Posuv na otáčku f_{n_i} mm
1	Fréza hrubovací	18	650	4	0,2	-
2	Fréza dokončovací	18	380	4	0,1	-
3	Vrták	15	50	-	-	0,3
4	Fréza hrubovací	10	650	4	0,1	-
5	Fréza dokončovací	10	380	4	0,04	-
6	Vrták	16	50	-	-	0,3
7	Vrták	7	50	-	-	0,17
8	Fréza odjehlovací	4	200	4	0,1	-
9	Fréza drážkovací	21,7	800	4	0,3	-

Po zjištění vhodných hodnot řezných rychlostí v_c a ostatních parametrů nástrojů bylo potřeba vypočítat otáčky n , při kterých budou nástroje pracovat. To se provedlo pomocí známého průměru nástroje D a výše zmiňované řezné rychlosti v_c z následujícího vztahu:

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} \quad (1)$$

Po výpočtu otáček pro všechny nástroje ze seznamu lze při známých otáčkách n , známém počtu zubů z a posuvu na zub f_z (v případě frézy) nebo známém posuvu na otáčku f_n (v případě vrtáku) vypočítat rychlost posuvu v_f z následujících vztahů:

$$v_f = n \cdot z \cdot f_z \quad (\text{pro frézu}) \quad (2)$$

$$v_f = n \cdot f_n \quad (\text{pro vrták}) \quad (3)$$

Všechny tyto vypočítané hodnoty jsou vedle nástrojů uvedeny v tabulce 5-2.

tab. 5-2 Seznam použitých nástrojů, jejich otáček a rychlostí posuvu.

Pozice nástroje i	Druh nástroje	Průměr $\varnothing D_i$ mm	Otáčky n_i min^{-1}	Rychlost posuvu v_{f_i} $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$
1	Fréza hrubovací	18	11 494,52	9 195,62
2	Fréza dokončovací	18	6 719,88	2 687,95
3	Vrták	15	1 047,65	322,4
4	Fréza hrubovací	10	20 690,14	8 276,06
5	Fréza dokončovací	10	12 095,78	1 935,32
6	Vrták	16	1 049,83	314,95
7	Vrták	7	2 273,64	386,52
8	Fréza odjehlovací	4	15 915,49	6 366,2
9	Fréza drážkovací	21,7	11 734,93	14 081,92

Pro určení strojního času je potřeba znát dráhy jednotlivých nástrojů. Tyto dráhy jsem vypočítal a přibližně odměřil z modelu součásti v programu Autodesk Inventor Professional 2020. Vypočítané a odměřené hodnoty dráhy nástrojů nejsou přesné, jsou přibližné. Pro přesný výpočet by bylo potřeba obrábění simulovat v CAM softwaru. Protože ale chci zjistit pouze hrubý rozdíl mezi časy obrábění a přípravy obrobků, a ne přesný čas obrábění, je tato odchylka, která nepřesným výpočtem vznikne, přípustná.

Strojní časy jednotlivých operací se pak při známé délce dráhy nástroje L a známé rychlosti posuvu v_f vypočítá ze vztahu:

$$t_s = \frac{L}{v_f} \cdot 60 \quad (4)$$

Vypočítané hodnoty strojních časů pro jednotlivé operace jsou uvedeny v tabulce 5-3 (pro 1. upnutí) a v tabulce 5-4 (pro 2. upnutí).

tab. 5-3 Strojní časy jednotlivých operací při prvním upnutí.

Pořadí operace <i>j</i>	Druh operace	Pozice nástroje <i>i</i>	Dráha <i>L_j</i> <i>mm</i>	Strojní čas <i>t_{s_j}</i> <i>s</i>
1	Zarovnání čela	2	87	1,94
2	Hrubování plochy	1	132,52	0,86
3	Dokončování plochy + vyvrtání zahloubení	2	34,258	0,77
4	Vrtání Φ16	6	25	4,76
5	Sražení hrany díry + odjehlení	8	104,41	0,98

Do celkového strojního času je také potřeba započítat výměny nástrojů. Podle výrobce stroje doba t_{VN} , za kterou nástroj vyjede z řezu, vymění se za jiný a vrátí se do stejného místa řezu, je 2,6 s [5]. Tyto výměny proběhnou při prvním upnutí čtyřikrát. Z těchto hodnot už tedy lze vypočítat celkový čas obrábění při prvním upnutí:

$$t_{sA} = (\sum_{j=1}^5 t_{s_j}) + 4 \cdot t_{VN} = t_{s_1} + t_{s_2} + t_{s_3} + t_{s_4} + t_{s_5} + 4 \cdot t_{VN} = 1,94 + 0,86 + 0,77 + 4,76 + 0,98 + 4 \cdot 2,6 = 19,71 \text{ s} \quad (5)$$

tab. 5-4 Strojní časy jednotlivých operací při druhém upnutí.

Pořadí operace <i>j</i>	Druh operace	Pozice nástroje <i>i</i>	Dráha <i>L_j</i> <i>mm</i>	Strojní čas <i>t_{s_j}</i> <i>s</i>
6	Hrubování plochy okolo čepu	1	339,8	2,22
7	Dokončování plochy okolo čepu	2	339,8	7,58
8	Frézování drážek na čepu	9	249,44	1,06
9	Vrtání Φ15	3	32	5,96
10	Hrubování kontury okolo díry	4	81,9	0,6
11	Dokončování kontury okolo díry	5	81,9	2,54
12	Vrtání Φ7	7	6,5	1
13	Sražení hrany díry a čepu + odjehlení	8	247,1	2,33

Stejným způsobem lze opět vypočítat celkový čas obrábění při druhém upnutí:

$$t_{sB} = (\sum_{j=6}^{13} t_{s_j}) + 7 \cdot t_{VN} = t_{s_6} + t_{s_7} + t_{s_8} + t_{s_9} + t_{s_{10}} + t_{s_{11}} + t_{s_{12}} + t_{s_{13}} + 7 \cdot t_{VN} = 2,22 + 7,58 + 1,06 + 5,96 + 0,6 + 2,54 + 1 + 2,33 + 7 \cdot 2,6 = 41,49 \text{ s} \quad (6)$$

V následující tabulce 5-5 jsou postupně seřazeny všechny úkony, které musí obsluha udělat na druhém stole během obrábění. Časy jednotlivých úkonů jsou orientační, nejsou přesně změřené.

tab. 5-5 Seznam úkonů obsluhy a časy pro ně vyhrazené.

Pořadí úkonu k	Úkon	Čas vyhrazený pro daný úkon
		t_{o_k} s
1	Otevření dveří stroje	2
2	Ofouknutí upínačů s obrobky	5
3	Vypnutí hydrauliky	1
4	Vyjmutí obrobků	8
5	Ofouknutí vyjmutých obrobků	10
6	Ustavení nových kusů	10
7	Zapnutí hydrauliky	1
8	Doklepnutí	3
9	Zavření dveří	2
10	Spuštění programu	1

Celkový čas, který obsluha potřebuje k vyjmutí obrobků a ustavení nových kusů se vypočítá následovně:

$$t_o = \sum_{k=1}^{10} t_{o_k} = t_{o_1} + t_{o_2} + t_{o_3} + t_{o_4} + t_{o_5} + t_{o_6} + t_{o_7} + t_{o_8} + t_{o_9} + t_{o_{10}} = 2 + 5 + 1 + 8 + 10 + 10 + 1 + 3 + 2 + 1 = 43 \text{ s} \quad (7)$$

Výpočty strojních časů (viz výše) byly vypočítány pro 1 obrobek. Vzhledem k tomu, že při každém upnutí bude mít jedno vřeteno za úkol obrobit kusy 2, celkové strojní časy vzrostou na dvojnásobek:

$$t_{sA-celk.} = t_{sA} \cdot 2 = 19,71 \cdot 2 = 39,42 \text{ s} \quad (8)$$

$$t_{sB-celk.} = t_{sB} \cdot 2 = 41,49 \cdot 2 = 82,98 \text{ s} \quad (9)$$

Z porovnání strojních času jednotlivých upnutí s časy obsluhy, a s přihlédnutím na nepřesnost výpočtu je zřejmé, že při obrábění prvního upnutí vzniká téměř nulový prostoj jak stroje, tak obsluhy, což je ideální. Při obrábění druhého upnutí vzniká prostoj obsluhy dlouhý cca 40 s. Při takto velké sérii je ale potřeba často provádět proměření obrobků, což i definuje norma ISO 9001. Touto kontrolou lze prostoje vyplnit činností, která stejně musí proběhnout, čímž se časy prostojů eliminují téměř na nulu.

Z tohoto lze tedy usoudit, že počáteční návrh rozvržení je optimalizován dobře a může být použit. Během jednoho upnutí (ať už prvního nebo druhého) budou tedy na stole stroje dvě upínací jednotky, z nichž v každé budou dvě součásti. Pro výpočet času jednoho kompletního obrábění (1. i 2. upnutí) tedy uvažuji malý prostoj vzniklý po 1. upnutí, a dále musí být dvakrát připočten čas potřebný k otočení stolu (jednou se stůl otáčí na začátku procesu, podruhé mezi 1. a 2. upnutí, otočení na konci procesu je zároveň otočením na začátku procesu následujícího) paletovým měničem, jenž podle výrobce činí asi 10 sekund [5]. Čas jednoho kompletního obrábění, kdy výstupem budou 4 hotové součásti, se vypočítá následovně:

$$t_{s_4} = t_O + t_{sB-celk.} + 2 \cdot 10 = 43 + 89,98 + 20 = 152,98 \text{ s} \quad (10)$$

Za zhruba 153 sekund se tedy vyrobí 4 součásti.

5.5 SPLNĚNÍ POŽADOVANÉ SÉRIE

Při výrobě uvažuji třísměnný nepřetržitý provoz. Každý měsíc by se měla vymezit určitá doba na případný servis či údržbu stroje. Tuto dobu předpokládám jako délku jedné směny za měsíc, tedy 8 hodin měsíčně. Celkový využitelný čas činí 1 rok, což je maximální požadovaná délka předpokládané série, která byla definována pro 500 000 kusů.

Za 152,98 s se vyrobí 4 součásti, což je doba jednoho obrábění. Počet obrábění celkově tedy bude 4krát menší, než je velikost předpokládané série:

$$P_O = 500\,000 : 4 = 125\,000 \quad (11)$$

Celkový čas obrábění s přihlédnutím na servisní odstávky tedy bude:

$$T_O = P_O \cdot t_{s_4} + 8 \cdot 12 = 125\,000 \cdot 152,98 + 96 = 19\,122\,596 \text{ s} = 5\,311,83 \text{ hod} \quad (12)$$

Čas k dispozici:

$$T_D = 365 \cdot 24 = 8\,760 \text{ hod} \quad (13)$$

Ve výpočtu nefigurují další faktory, které na výsledném času k dispozici ubírají, např. přestávky pro obsluhu nebo případná zmetkovitost a tím pádem nutnost vyrobit více než 500 000 kusů. Z porovnání času obrábění a času, který bude během 1 roku k dispozici je ale patrné, že se požadovaná série splní za cca 62 % času, který je na ni k dispozici. I při uvažování několikaprocentní zmetkovitosti a přestávek se tedy dá usoudit, že série bude bezproblémově splněna v požadovaném čase i v tomto případě.

Dále lze vypočítat o kolik kusů by šlo sérii rozšířit:

Zbýlý čas:

$$T_Z = T_D - T_O = 8\,760 - 5\,311,83 = 3\,448,17 \text{ hod} = 12\,413\,412 \text{ s} \quad (14)$$

Počet obrábění proveditelných za zbylý čas:

$$P_{OZ} = \frac{T_Z}{t_{s_4}} = \frac{12\,413\,412}{152,98} = 81\,144 \text{ obrábění} \quad (15)$$

Počet kusů výrobitelných za zbylý čas:

$$K_Z = P_{OZ} \cdot 4 = 81\,144 \cdot 4 = 324\,576 \text{ kusů} \quad (16)$$

Série se tedy splní za 5311,83 hodin, což je zhruba 221 dní. Pokud by bylo potřeba počet požadovaných kusů v sérii rozšířit, je to možné, a to cca o 324 576 kusů. Na splnění série tedy stačí dvě upínací jednotky pro každé upnutí (celkově 4) a jeden obráběcí stroj v provozu.

6 DISKUZE

Pro řešení upínání zadané součásti jsem zvolil postupu, kdy se vhodně upraví již existující a komerčně dobře dostupný upínač tak, aby vyhovoval použití pro konkrétní zadanou součást. Oba navržené koncepty vycházely ze stejného principu, kdy se výměnou středové stacionární čelisti upínače docílí správného ustavení obrobku. Z výše uvedených důvodů jsem pro konstrukční řešení zvolil první z konceptů. Pro vyráběné dorazy jsem zvolil materiál 16MnCr5, u kterého se zakalením získá požadovaná tvrdost, která zvýší životnost těchto dílů, což je u velkých sérií určitě žádoucí.

Dále bylo potřeba zjistit jaké rozvržení upínačů na stole stroje je nejefektivnější. Vzhledem ke konstrukci obráběcího centra byla zvoleno rozvržení se dvěma upínacími jednotkami, z nichž v každé byly ustaveny dva obráběné kusy. Následným výpočtem strojních časů a jejich porovnáním s časy, které potřebuje obsluha k vyjmutí hotových dílů a ustavení nových, bylo potvrzeno, že toto rozvržení upínačů je efektivní. Výpočet strojních časů, konkrétněji výpočet délky drah nástrojů byl do jisté míry zjednodušen. Rozhodně ale ne natolik, aby zásadně ovlivnil dosažené výsledky. Odchylky vnesené tímto zjednodušením jsou maximálně v rámci jednotek sekund.

V závěru jsem provedl výpočet, který ověřil, zda se v zadaném čase stihne vyrobit požadovaná série.

Výkresová dokumentace vyráběných částí, obráběného kusu a sestav upnutí je součástí přílohy této práce.

7 ZÁVĚR

Hlavním cílem této práce bylo navrhnout konstrukci upínacího přípravku pro CNC obráběcí stroj s ohledem na minimální náklady a prostoje stroje při sériové výrobě konkrétní součásti pro automobilový průmysl. Dílčími cíli bylo analyzovat problém a provést bibliografickou rešerši současných trendů v oblastech upínání, vypracovat koncepční návrhy a jeden z nich dále rozpracovat do podoby výkresové dokumentace. Hlavní i dílčí cíle práce byly splněny.

V teoretické části práce jsou popsány jednotlivé způsoby upínání kusů při strojové výrobě, z čehož bylo potom v praktické části práce čerpáno. Mimo jiné byly v rešerši také analyzovány používané materiály vhodné pro automobilový průmysl, což pomohlo k pozdějšímu výběru materiálu pro konkrétní zadanou obráběnou součást. Dále je obsahem rešerše taky analýza obráběcích center vhodných k sériové výrobě, z níž bylo opět později čerpáno při výběru konkrétního centra, na které bude navrhovaný upínací přípravek použit.

Efektivita celého procesu byla později podložena výpočty, které poukázaly na správnost rozvržení upínačů na stole a jsou taky důkazem toho, že výrobní série bude splněna v požadovaném čase. Požadovaná série 500 000 kusů se vyrobí za zhruba 221 dní, tedy asi 144 dní před požadovaným termínem. Tohoto se dosáhne, pokud budou použity dvě upínací jednotky pro každé upnutí (celkově tedy 4 jednotky pro 2 upnutí) na definovaném stroji při nepřetržitém třísměnném provozu.

Do budoucna by se ještě větší efektivity procesu dalo dosáhnout tím, že by nové kusy nemusel zakládat člověk, ale např. robotické automatizované rameno. Časy obsluhy by se tak razantně zkrátily a nevznikaly by žádné prostoje.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. MICHNA, Štefan. *Encyklopedie hliníku*. Děčín: Alcan Děčín Extrusions, 2005. ISBN 80-89041-88-4.
2. AL slitiny. [online]. Dostupné z: <http://www.kovo-spacil.cz/alloys/cz.htm>
3. ALFUN - hliník. ALFUN - Home [online]. Dostupné z: <http://alfun.cz/hlinik>
4. EN AW-2007, AlCu4MgMn: Vlastnosti | NPS PROAL s.r.o.. Hliníkové profily, tyče, plechy a desky | PROAL Ostrava [online]. Copyright © 2019 NPS PROAL Ostrava. Hliníkové profily, tyče, plechy, desky a systémy. [cit. 12.10.2019]. Dostupné z: <https://proal.cz/hlinik/slitiny-hliniku/en-aw-2007/>
5. G520 : GROB-WERKE GmbH & Co. KG. GROB-WERKE - HOME [online]. Copyright © GROB [cit. 26.10.2019]. Dostupné z: <https://www.grobgroup.com/en/products/product-range/system-solutions/g-modules/g520/>
6. GROB Systems, Inc. G520 Twin Spindle Universal CNC Horizontal Milling Machine and Machining Center Techspex . The New Machine Tools Model Specification Database. Cutting Tools, Workholding | Techspex [online]. Dostupné z: [https://www.techspex.com/machining-centers/grob-systems-inc\(3046\)/5765](https://www.techspex.com/machining-centers/grob-systems-inc(3046)/5765)
7. CMX 50 U - 5 Axis Milling by DMG MORI. CNC obráběcí stroje, kovoobráběcí stroje DMG MORI [online]. Copyright © 2019 DMG MORI. Všechna práva vyhrazena. [cit. 26.10.2019]. Dostupné z: <https://cz.dmgmori.com/produkty/stroje/frezovani/petiose-frezovani/cmx-u/cmx-50-u>
8. PH . CNC obráběcí stroje, kovoobráběcí stroje DMG MORI [online]. Copyright © 2019 DMG MORI. Všechna práva vyhrazena. [cit. 26.10.2019]. Dostupné z: <https://cz.dmgmori.com/produkty/automatizace/manipulace-s-paletami/kotoucovy-zasobnikovy-system/ph>
9. CNC dvoustolové vertikální centrum i-CUT400TD. PROFIKA s.r.o. - CNC obráběcí stroje Hyundai WIA a Hanwha - prodej, servis, technologie a konstrukce automatizace a robotizace [online]. Copyright © 2019 PROFIKA s.r.o. [cit. 26.10.2019]. Dostupné z: <https://www.profika.cz/cnc-stroje/cnc-dvoustolove-vertikalni-centrum-i-cut380td>
10. i-CUT400TD | HYUNDAI WIA Machine Tools. [online]. Dostupné z: https://machine.hyundai-wia.com/en/product/product_detail.asp?PRODUCT_SEQ=33184&PRODUCT_CODE=B01007
11. Modely FANUC ROBODRILL - Fanuc. Object moved [online]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/robodrill-ib/modely-robodrill>

12. Obrábění komponentů pro automobilový průmysl | KOVOKON Popovice s.r.o.. Home | KOVOKON Popovice s.r.o. [online]. Copyright © 2015 KOVOKON.CZ [cit. 26.10.2019]. Dostupné z: <http://www.kovokon.cz/obrabeni-komponentu-pro-automobilovy-prumysl.html>
13. CHIRON. CHIRON [online]. Copyright © CHIRON Werke GmbH [cit. 26.10.2019]. Dostupné z: <https://chiron.de/en/products/machine-tools/the-15-series>
14. Výroba fitinků | CZ-Auto. CZ-Auto | Specializovaná strojírenská výroba [online]. Copyright © 2015 [cit. 26.10.2019]. Dostupné z: <https://cz-auto.com/fitinky/>
15. Rekordní počet vyrobených vozů ŠKODA v ČR v roce 2018. ŠKODA AUTO Česká republika | Oficiální web ŠKODA AUTO a.s. [online]. Copyright © ŠKODA AUTO a.s. 2019 [cit. 29.10.2019]. Dostupné z: <https://www.skoda-auto.cz/novinky/novinky-detail/2019-01-24-vyroba-2018>
16. GROB manufacturing lines for AUDI - GROB-WERKE. Welcome to the Industry Portal for Manufacturing [online]. Dostupné z: <https://en.industryarena.com/grob-werke/tv/grob-manufacturing-lines-for-audi--3551.html>
17. ŘASA, Jaroslav, Václav HANĚK a Jindřich KAFKA. *Strojírenská technologie 4: Návrhy nástrojů, přípravků a měřidel. Zásady montáže*. Praha: Scientia, 2003, 505 s. ISBN 80-7183-284-7.
18. Prizma 100 x 65 x 41 mm (pár) - LIMIT (2502-0207) - Markagro s.r.o. - Nářadí kovo nástroje. Markagro s.r.o. - Nářadí kovo nástroje [online]. Dostupné z: <https://eshop.markagro.cz/prizmaticke-drzaky/6991-prizma-100-x-65-x-41-mm-par-limit-2502-0207.html>
19. Otočný upínací hrot MK2 Güde. ELESPO - ruční nářadí [online]. Copyright © 2010 [cit. 09.11.2019]. Dostupné z: <https://www.elespo.cz/otocny-upinaci-hrot-mk2-gude>
20. Středící čepy, válcové broušený | norelem. 301 Moved Permanently [online]. Copyright © 2019 norelem. Všechna práva vyhrazena. [cit. 09.11.2019]. Dostupné z: <https://www.norelem.com/cz/cs/Produkty/Přehled-výrobků/Pružný-systém-normalizovaných-dílů/03000-Pružné-tlačné-prvky-Aretační-čepy-Dorazové-prvky-Středící-a-polohovací-prvky-Fixační-prvky-Vodicí-vložky-do-drážek/Uchycovací-čepy-polohovací-systémy/03120-Středící-čepy-válcové-broušený.html>
21. Zesilovače tlaku a pneumaticko-hydraulické systémy. Nejčtenější strojírenský časopis - MM spektrum [online]. Copyright © 2019 www.mmspektrum.com [cit. 09.11.2019]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/zesilovace-tlaku-a-pneumaticko-hydraulicke-systemy.html>
22. HOFFMAN, E.G. Jig and fixture design. 5th ed. Clifton Park, NY: Thomson/Delmar Learning, 2004. ISBN 978-1401811075.

23. Pneumatické upínače. MAREK Industrial a.s. [online]. Copyright © 2017 [cit. 22.11.2019]. Dostupné z: <https://www.marek.eu/norelem-normovane-dily/pruzny-system-normalizovanych-dilu/rychloupinace-pneumaticke-upinace-prislusenstvi-upinacu-upinaci-uzavery-zapadkove-uzavery/pneumaticke-upinace/24528/pneumaticke-upinace.html>
24. Pneumatické upínače | norelem. 301 Moved Permanently [online]. Copyright © 2019 norelem. Všechna práva vyhrazena. [cit. 22.11.2019]. Dostupné z: <https://www.norelem.com/cz/cs/Produkty/Přehled-výrobků/Pružný-systém-normalizovaných-dílů/05000-Rychloupínače-Pneumatické-upínače-Príslušenství-upínačů-Upínací-uzávěry-Západkové-uzávěry/Pneumatické-upínače/05331-Pneumatické-upínače.html>
25. Pneumatické upínače s posuvnou tyčí. MAREK Industrial a.s. [online]. Copyright © 2017 [cit. 22.11.2019]. Dostupné z: <https://www.marek.eu/norelem-normovane-dily/pruzny-system-normalizovanych-dilu/rychloupinace-pneumaticke-upinace-prislusenstvi-upinacu-upinaci-uzavery-zapadkove-uzavery/pneumaticke-upinace/24529/pneumaticke-upinace-s-posuvnou-tyci.html>
26. Pneumatické upínače s posuvnou tyčí | norelem. 301 Moved Permanently [online]. Copyright © 2019 norelem. Všechna práva vyhrazena. [cit. 22.11.2019]. Dostupné z: <https://www.norelem.com/cz/cs/Produkty/Přehled-výrobků/Pružný-systém-normalizovaných-dílů/05000-Rychloupínače-Pneumatické-upínače-Príslušenství-upínačů-Upínací-uzávěry-Západkové-uzávěry/Pneumatické-upínače/05340-Pneumatické-upínače-s-posuvnou-tyčí.html>
27. Pneumatické upínače, svislé v těžkém provedení. MAREK Industrial a.s. [online]. Copyright © 2017 [cit. 22.11.2019]. Dostupné z: <https://www.marek.eu/norelem-normovane-dily/pruzny-system-normalizovanych-dilu/rychloupinace-pneumaticke-upinace-prislusenstvi-upinacu-upinaci-uzavery-zapadkove-uzavery/pneumaticke-upinace/24530/pneumaticke-upinace-svisle-v-tezkem-provedeni.html>
28. Pneumatické upínače, svislé v těžkém provedení | norelem. 301 Moved Permanently [online]. Copyright © 2019 norelem. Všechna práva vyhrazena. [cit. 22.11.2019]. Dostupné z: <https://www.norelem.com/cz/cs/Produkty/Přehled-výrobků/Pružný-systém-normalizovaných-dílů/05000-Rychloupínače-Pneumatické-upínače-Príslušenství-upínačů-Upínací-uzávěry-Západkové-uzávěry/Pneumatické-upínače/05350-Pneumatické-upínače-svislé-v-těžkém-provedení.html>
29. Concentric clamping. ROEMHELD-GRUPPE [online]. Copyright © 2019. [cit. 22.11.2019]. Dostupné z: <https://www.roemheld-gruppe.de/shop/en/ws-5-4502-workholding-systems-mc-p-z-concentric-clamping.html>

30. Hydraulic Vise Base w/ Cast Jaw Kit, 6". Kurt Workholding | Precision Vises | Workholding Vises [online]. Copyright ©2020 [cit. 28.02.2020]. Dostupné z: <https://www.kurtworkholding.com/kurt-hydraulic-vise-base-cast-jaw-kit-p-1077.html>
31. HZS Hydraulic centre-clamping vises - Spreitzer GmbH & Co. KG. Zentrierspanner, Spannelemente und Spanntechnik von Spreitzer [online]. Copyright © Spreitzer GmbH [cit. 25.11.2019]. Dostupné z: <https://www.spreitzer.de/en/clamping-technology/hzs-hydraulic-centre-clamping-vises/>
32. Hydraulický svěrák modulární řady DHMS - Deprox s.r.o.. Vývoj, konstrukce, technologie a výroba - Deprox s.r.o. [online]. Copyright © 2013 Všechna práva vyhrazena [cit. 25.11.2019]. Dostupné z: <http://www.deprox.cz/hydraulicky-sverak-modularni/>
33. SEKELSKY, M. Edward, Jr. Clamping System. Oxford, Connecticut, United States. 4,669,161. Uděleno 02.06.1987.
34. NOGOL, Adolf. Frýdek-Místek. Upínací přípravek. Československá socialistická republika. 204 460. Uděleno 01.06.1983.
35. SVOBODA, Petr. MOVA UB, S.R.O. Hydraulická upínací jednotka pro upínání tvarově rozdílných součástí. Česká republika. 2005-628. Uděleno 18.04.2007.
36. Frézy. Frézy [online]. Dostupné z: <https://www.hofmann-vratny.cz/cz/ctyrbrite-frezy/?list=1161>
37. Frézy [online]. Copyright © [cit. 13.02.2020]. Dostupné z: <https://www.hofmann-vratny.cz/user/ke-stazeni/rezne-podminky.pdf>
38. Brusivo Jimi - Vrtáky. Brusivo, brusné a lamelové kotouče, jádrové vrtáky, DIA kotouče [online]. Dostupné z: <http://www.brusivojimi.com/poradce/39-vrtaky>
39. [online]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog/Grade.aspx?grade=IC528&item=6403109&fnum=2539&mapp=ML&app=63>
40. KURT 6" Double Lock Vise HDHL6J. ajaxtoolsupply.com [online]. Dostupné z: <https://www.ajaxtoolsupply.com/ku6dolovihd.html?viewfullsite=1>
41. ŘEZNÉ PODMÍNKY NÁSTROJŮ | TumliKOVO:Technologie strojního obrábění kovů. Technologie strojního obrábění kovů a broušení nástrojů [online]. Copyright © 2010 TumliKOVO. Všechna práva vyhrazena. [cit. 28.02.2020]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/rubriky/rezne-podminky-nastroju/>
42. Fitinky :: CZ-AUTO | Specializovaná strojírenská výroba. CZ-AUTO | Specializovaná strojírenská výroba [online]. Copyright © [cit. 17.04.2020]. Dostupné z: <https://www.cz-auto.com/fitinky/>

43. Řešení z hliníku | [online]. Dostupné z: <https://www.alumeco.cz/technické-informace/tolerance/hliníkové-profil>
44. Chladič hliníkový profil LED profil extruze hliníkový rám výroba hmotnost hliníkové části|Anhui Guotai Aluminum Co.,Ltd. aluminum profile, aluminum extrusion, aluminum alloy|Anhui Guotai Aluminum Co.,Ltd [online]. Copyright © 2020 Anhui Guotai Aluminum Co.,Ltd Všechna práva vyhrazena. [cit. 17.04.2020]. Dostupné z: http://guotai.infocsb2b.com/product-detail/Heat-sink-aluminium-profile-LED-profile-extrusion-aluminium-frame-manufacture-weight-of-aluminium-section_148.html
45. Machifit silver 1000mm length 3030 aluminum profile extrusion frame Sale - Banggood.com. Banggood: Online Shopping for RC Cars, 3D Printer, Apparel & Home Decors [online]. Copyright © 2006 [cit. 17.04.2020]. Dostupné z: https://www.banggood.com/cs/Machifit-Silver-1000mm-Length-3030-Aluminum-Profile-Extrusion-Frame-p-1308527.html?cur_warehouse=CN
46. Aluminium Extrusion at Rs 177 /meter | Aluminium Extrusions, एल्यूमिनियम एक्सट्रूजन - Pride Metal Products, Ludhiana | ID: 16464795155. IndiaMART - Indian Manufacturers Suppliers Exporters Directory,India Exporter Manufacturer [online]. Copyright © 1996 [cit. 17.04.2020]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/aluminium-extrusion-16464795155.html>
47. Aluminium Alloy - General Information - EN Standards for Aluminium Extrusions. Aalco - The UK's largest independent multi-metals stockholder [online]. Dostupné z: http://www.aalco.co.uk/datasheets/Aluminium-Alloy-EN-Standards-for-Aluminium-Extrusions_48.ashx
48. KIPP-Pružné boční opěrky. 301 Moved Permanently [online]. Copyright © 2020 HEINRICH KIPP WERK KG [cit. 28.05.2020]. Dostupné z: <https://www.kipp.cz/cz/cs/Produkty/Ovládací-prvky-normované-díly/Pružné-tlakové-matrice-aretační-čepy-kulové-kolíčky/K0368-Pružné-tlačné-prvky-boční.html>
49. ŠKODA Forum | SKODAHOME.cz [online]. Copyright © [cit. 01.06.2020]. Dostupné z: https://forum.skodahome.cz/uploads/monthly_2017_06/IMG_2305.jpg.36222494af168460d88dcf256904043c.jpg

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

9.1 POUŽITÉ VELIČINY, JEJICH JEDNOTKY A VÝZNAM

D	mm	průměr nástroje
f_n	mm	posuv na otáčku
f_z	mm	posuv na zub
K_Z	-	počet kusů vyrobitelných za zbylý čas
L	mm	dráha nástroje
n	min^{-1}	otáčky vřetene
P_O	-	celkový počet obrábění ke splnění série
P_{OZ}	-	počet proveditelných obrábění za zbylý čas
T_D	hod	čas k dispozici
T_O	hod	čas všech obrábění ke splnění série
t_O	s	čas obsluhy stroje
t_s	s	strojní čas
t_{s4}	s	čas jednoho kompletního obrábění
t_{sA}	s	strojní čas pro 1. upnutí
$t_{sA\text{-celk.}}$	s	celkový strojní čas pro 1. upnutí
t_{sB}	s	strojní čas pro 2. upnutí
$t_{sB\text{-celk.}}$	s	celkový strojní čas pro 2. upnutí
t_{VN}	s	doba výměny nástroje
T_Z	s	čas zbylý po dokončení série
v_c	$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	řezná rychlost
v_f	$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$	rychlost posuvu
Z	-	počet zubů frézy

10 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

10.1 SEZNAM OBRÁZKŮ

obr. 2-1	Ukázka produkce CZ-AUTO: a) vyráběný fitink, b) fitink v soustavě klimatizačního celku [42], c) připojení klimatizačního celku pomocí fitinku – upraveno [49].....	14
obr. 2-2	Možnosti profilů vyráběných extruzí hliníkových slitin: a), b) kostry chladičů [44]; c), d) konstrukční rámy [45], [46]	19
obr. 2-3	Obráběcí centrum GROB G520: a) bez měniče palet, b) s integrovaným měničem palet [5], [6]	20
obr. 2-4	Obráběcí centra DMG MORI: a) DMG MORI CMX 50 U, b) CMX 600V s kotoučovým zásobníkovým systémem použitelným i pro CMX 50 [7], [8]	21
obr. 2-5	Obráběcí centrum Hyundai WIA i-CUT400TD [9].....	22
obr. 2-6	Obráběcí centrum Fanuc ROBODRILL α D21LiB5 [11]	23
obr. 2-7	Obráběcí centrum FZ15 FX ze série CHIRON 15 [13].....	23
obr. 2-8	Opěrné a ustavovací prvky; a) pevná opěrka s šestihrannou hlavou [17]; b) prizmatická opěrka [18]; c) otočný upínací hrot [19]; d) středící válcový čep [20]	28
obr. 2-9	Schéma pneumatického upínání; 1 – čistič, 2 – vypouštěcí ventil; 3 – odlučovač vody, 4 – redukční ventil, 5 – manometr, 6 – mlhovač, 7 – manuální rozvaděč, 8 – škrťací ventil, 9 – zpětný ventil, 10 – pneumatický válec s pístnicí, 11 – upínač [17]	29
obr. 2-10	Schéma hydraulického upínání; 1 – vysokotlaké čerpadlo, 2 – zpětný ventil, 3 – odlehčovací ventil, 4 – nízkotlaké čerpadlo, 5 – přepouštěcí ventil (regulátor tlaku), 6 – čtyřcestný ventil, 7 – hydraulický válec s pístnicí [17].....	30
obr. 2-11	Pneumatický upínač od společnosti NORELEM [23], [24]	31
obr. 2-12	Pneumatický upínač s posuvnou tyčí od společnosti NORELEM [25].....	32
obr. 2-13	Pneumatický upínač svislý v těžkém provedení od společnosti NORELEM [27], [28].....	32
obr. 2-14	Soustředný hydraulický upínač MC-P ZH společnosti ROEMHELD [29]...	33
obr. 2-15	Hydraulický upínač Vise Base 6“ společnosti Kurt [40]	34
obr. 2-16	Hydraulický samo-středící upínač HZS A společnosti SPREITZER [31]	35
obr. 2-17	Možné tvary upínacích čelistí upínače HZS A [31].....	35
obr. 2-18	Hydraulický modulární svěrák DHMS od společnosti DEPROX [32]	36

obr. 2-19	Hydraulický upínací systém US4669161A [33]	37
obr. 2-20	Pneumatický upínací přípravek CS204460B1; a) půdorys b) pohled P (viz a)) [34].....	38
obr. 2-21	Hydraulická upínací jednotka pro upínání tvarově rozdílných součástí CZ2005628A3; a) 3D pohled na upínací jednotku; b) základní pohledy na upínací jednotku; c) řezy upínací jednotkou [35].....	39
obr. 2-22	Upevnění hydraulické jednotky na základně a na desce CNC stroje [35]	40
obr. 2-23	Nadstavba upínací jednotky; a) základní pohledy na nadstavbu; b) pohled na celou sestavu upínací jednotku i s upevněnou nadstavbou a upnutým obrobkem [35].....	40
obr. 3-1	Vyráběná součást: a) polotovár, b) dokončená	42
obr. 3-2	Obráběcí centrum GROB G520 s integrovaným měničem palet [6]	42
obr. 3-3	Hydraulický upínač Vise Base 6“ od společnosti Kurt [30]	42
obr. 4-1	Koncept 1: a) doraz pro 1. upnutí, b) doraz pro 2. upnutí.....	43
obr. 4-2	Koncept 2: a) doraz pro 1. upnutí, b) doraz pro 2. upnutí.....	44
obr. 5-1	3D modely středových dorazů: a) pro 1. upnutí, b) pro 2. upnutí.....	45
obr. 5-2	Sestava 1. upnutí: vlevo upnuta součást po 1. upnutí, vpravo polotovár	46
obr. 5-3	Sestava 2. upnutí: vlevo upnuta dokončená součást, vpravo součást mezi 1. a 2. upnutí.....	46
obr. 5-4	Upínací deska	47
obr. 5-5	Sestava 1. upnutí připevněna k upínací desce	47

11 SEZNAM TABULEK

tab. 2-1	Vhodnost vybraných slitin hliníku k požadovaným technologickým operacím.....	18
tab. 2-2	Konstrukční možnosti vybraných obráběcích center	24
tab. 2-3	Parametry pneumatických upínačů s posuvnou tyčí od společnosti NORELEM [26].....	32
tab. 2-4	Parametry pneumatických upínačů svislých v těžkém provedení od společnosti NORELEM [28]	33
tab. 2-5	Parametry soustředného hydraulického upínače MC-P ZH od společnosti ROEMHELD [29]	34
tab. 2-6	Parametry hydraulického upínače Vise Base 6“ od společnosti Kurt [30]	34
tab. 2-7	Parametry hydraulického samo-středícího upínače HZS A od společnosti Spreitzer [31]	35
tab. 2-8	Parametry hydraulického modulárního svěráku DHMS od společnosti DEPROX [32]	36
tab. 5-1	Seznam použitých nástrojů, jejich základních parametrů a řezných podmínek [36], [37], [38], [39]	47
tab. 5-2	Seznam použitých nástrojů, jejich otáček a rychlostí posuvu.....	48
tab. 5-3	Strojní časy jednotlivých operací při prvním upnutí.....	49
tab. 5-4	Strojní časy jednotlivých operací při druhém upnutí	49
tab. 5-5	Seznam úkonů obsluhy a časy pro ně vyhrazené	50

12 SEZNAM PŘÍLOH

12.1 VÝKRESY

- Příloha 1: 11.4.2020 – 1_DORAZ 1
- Příloha 2: 11.4.2020 – 2_DORAZ 2
- Příloha 3: 11.4.2020 – 3_FITINK
- Příloha 4: 1.6.2020 – 4_UPÍNACÍ DESKA
- Příloha 5: 1.6.2020 – 5_STŘEDÍCÍ ČEP
- Příloha 6: 11.4.2020 – S1_SESTAVA 1. UPNUTÍ
- Příloha 7: 11.4.2020 – S2_SESTAVA 2. UPNUTÍ
- Příloha 8: 3.6.2020 – K1_SESTAVA 1. UPNUTÍ
- Příloha 9: 3.6.2020 – K2_SESTAVA 2. UPNUTÍ

12.2 OSTATNÍ

- Příloha 10: Výkres palety stolu obráběcího centra GROB G520